

논문 2005-42TC-4-2

## 이더넷 메시 망에서의 물리 토폴로지 발견 알고리즘

(Physical Topology Discovery Algorithm for Ethernet Mesh Networks)

손 명 희\*, 김 병 철\*\*, 이 재 용\*\*

(Myunghee Son, Byungchul Kim, and Jaeyong Lee)

## 요 약

통신망에 대한 토폴로지 발견에 대한 기존의 연구는 주로 IP망에 대한 것으로 이더넷 장비의 토폴로지 발견은 배제되었다. 그러나 가격대비 성능이 우수한 이더넷 망이 점차 매트릭스 형태로 화 되면서 이더넷 망에 대한 토폴로지 발견을 통하여 이더넷 망 관리에 대한 필요성이 요구 되었다. 하지만 벤더 의존적인 토폴로지 발견 알고리즘과 2계층 포워딩 테이블에 의존적인 토폴로지 발견 알고리즘으로 인하여 메시 구조의 토폴로지는 발견하지 못한다.

본 논문에서는 이러한 제약을 극복하기 위하여 이더넷 망을 브리지 망과 호스트 망으로 구분하여 각 망에 효과적인 토폴로지 발견 알고리즘을 제안한다. 두 가지 종류의 망의 경계에 있는 브리지들을 에지 브리지라고 정의하고 에지 브리지 내부의 브리지 망은 스페닝 트리 프로토콜과 관련된 표준 MIB에 의하여 메시 구조의 토폴로지 발견이 가능하고 에지 브리지의 외부 망인 호스트 망은 2계층 포워딩 테이블과 관련된 표준 MIB을 이용함으로써 실시간적인 호스트 망의 토폴로지 발견이 가능하다.

## Abstract

Earlier researches have typically concentrated on discovering IP network topology, which implies that the connectivity of all Ethernet devices is ignored. But automatic discovery of physical topology plays a crucial role in enhancing the manageability of modern Metro Ethernet mesh networks due to the benefits of Ethernet services, including: Ease of use, Cost Effectiveness, and Flexibility. Because of proprietary solutions targeting specific product families and related algorithm which depends on Layer 2 forwarding table information it is impossible to discover physical topology in the Ethernet mesh networks. To cope with these shortcomings, in this paper we propose a novel and practical algorithmic solution that can discover accurate physical topology in the Ethernet mesh networks. Our algorithm divides the Ethernet mesh networks into bridged networks and host networks and those bridges located in boundary are named edge bridges. Our algorithm uses the standard spanning tree protocol MIB information for the bridged networks and uses the standard Layer 2 forwarding table MIB information for the host networks. As using the standard MIB information to discover physical topology we can offer interoperability guarantee in the Ethernet mesh networks composed of the various vendors' products.

**Keywords**: 토폴로지 발견, 이더넷, 메시 망, 스페닝 트리 프로토콜, SNMP

## I. 서 론

이더넷 서비스가 폭발적으로 증가하는 사용자를 확보하는 이유는 사용이 쉽고, 가격이 저렴하며 망구조가 매우 단순하여 확장성이 높다는 것이다. 현재 이와 같은 이더넷의 장점 때문에 이더넷 망은 기존의 LAN 환경에서 점차 MAN 과 WAN 환경으로 그 범위가 확대 되고 있다. 매트릭스 이더넷은 매트릭스 코어와 액세스 네

트워크를 이더넷 스위치와 다크 화이버로 구축하고 가입자 트래픽을 프로토콜 변환 없이 그대로 이더넷으로 수용하는 서비스이다<sup>[1]</sup>. 매트릭스 이더넷은 망구조가 매우 단순하고 구축 및 운영비용이 기존 망 대비 1/4내지 1/8로 저렴하여 각광을 받고 있다. 앞서 설명한 특징 때문에 이더넷 망은 망의 신뢰성을 높이기 위하여 메시 구조로 망을 구축한다. 하지만 데이터 전송에 치우친 기존의 연구는 이더넷 망 관리 측면에서 제약을 갖는다. 실제로 대부분의 시스템 운영자들은 이더넷 장비를 관리하지 않는다. 하지만 이더넷 망이 매트릭스 형태로 화 되면서 이더넷 망 관리에 대한 연구도 중요하게 부각되고 있다. 망을 효율적으로 운영하기 위하여 망 운영자는

\* 학생회원, \*\* 정회원, 충남대학교 정보통신공학과  
(Department of Information and Communication  
Engineering, Chungnam National University)  
접수일자: 2005년2월7일, 수정완료일: 2005년4월11일

이더넷 망에 대한 토폴로지를 파악하고 있어야 한다. 왜냐하면 이더넷 망은 물리적으로 망의 안정성을 높이기 위하여 메시 구조로 구축하고 스페닝 트리 프로토콜에 의하여 계산된 루프가 없는 트리 구조의 포워딩 경로를 갖기 때문이다. 즉, 실제 사용이 가능한 자원이 루프 문제 때문에 일시적으로 사용되지 않는 상태를 망 운영자는 파악하고 있어야 한다.

선행 연구들과 상업적인 망 관리 도구들을 조사해 보면 대부분 IP망에 대한 토폴로지 발견과 논리적인 토폴로지 발견에 그 한계를 갖고 있다. 이더넷 망에 대한 물리적인 토폴로지 발견에 대한 필요성이 부각되면서 IETF에서는 "physical topology" SNMP Management Information Base (MIB)<sup>[2]</sup>를 표준 규격으로 제안하였다. 하지만 이 표준안은 토폴로지 정보를 습득하기 위한 어떠한 프로토콜이나 알고리즘을 정의하지 않고 단순히 MIB에 대한 엔터티 항목만 규정짓고 있다. 이더넷 망에서의 물리 토폴로지 발견과 관련된 최근의 연구들은 스페닝 트리 경로만 찾을 뿐, 진짜 물리 토폴로지를 발견하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이와 관련된 내용은 II장 2절에서 자세히 설명한다. 이더넷 망에서 다중의 대체 경로들을 갖는 물리 토폴로지를 발견하기 위하여 본 논문에서는 새롭고 실용적인 알고리즘을 제안한다. 우리가 제안한 알고리즘은 표준 Interface MIB<sup>[3]</sup>과 Bridge MIB<sup>[4]</sup>정보를 가지고 이더넷 메시 망에서의 물리 토폴로지를 발견할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 연구 배경에 대하여 정리하고, III장에서는 제안된 알고리즘에 대하여 기술하며, IV장에서는 이더넷 메시 망에서의 물리 토폴로지 발견을 위해 구현과 시험 및 그 결과를 보이며, V장에서는 결론에 대하여 기술한다.

## II. 연구 배경

### 1. 선행 지식

#### 가. 주소 학습 이해

이더넷 스위치는 수신되는 데이터 프레임의 소스 MAC 주소를 기본 300초라는 에이징 시간 동안 포워딩 테이블에 저장해 놓고 활용한다<sup>[5]</sup>. 하지만 에이징 시간이 만료되면 해당 정보는 포워딩 테이블에서 제거된다. ANSI/IEEE Std 802.1D<sup>[6]</sup>규격에 의하면 장비 운영자는 그 값을 10초에서 1000000초 사이에 변경이 가능하다. 그림 1은 수신 MAC 주소, 수신 포트 번호, 그리고 에이징 시간으로 구성된 포워딩 테이블의 엔트리가 주소 학습을 통하여 생성되는 과정을 보여준다.

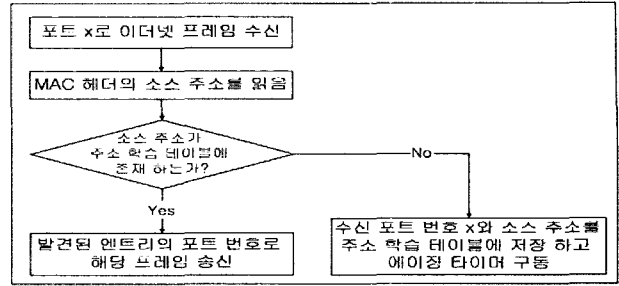


그림 1. 이더넷 스위치에서의 주소 학습 과정  
Fig. 1. Address Learning Process in the Ethernet switch.

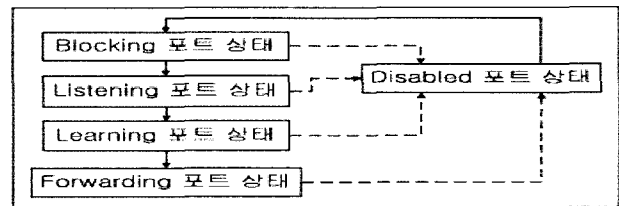


그림 2. 스페닝 트리 프로토콜에 의한 포트 상태 천이도  
Fig. 2. Port state transition diagram by STP.

표 1. 포트 상태와 이더넷 프레임 처리 관계

Table 1. Port state and Ethernet frame handling.

포트 상태 \ 프레임 처리	BPDU 프레임		데이터 프레임	
	수신	송신	수신	송신
Disabled	X	X	X	X
Blocking	O	X	X	X
Listening	O	O	X	X
Learning	O	O	O	X
Forwarding	O	O	O	O

이더넷 스위치에서는 수신 이더넷 프레임을 가지고 역방향 프레임에 대한 포워딩 테이블 정보의 기초로 활용함으로써 브로드캐스트 스토밍 문제를 해결한다.

#### 나. 스페닝 트리 프로토콜 이해

스패닝 트리 프로토콜은 메시 구조의 이더넷 망에서 발생하는 루프를 해제하고 대체 경로를 제공하는 2계층 링크 관리 프로토콜이다. 스페닝 트리 프로토콜에 의하여 계산된 트리는 루트 브리지에서 대표 브리지들까지 루프 없이 모두 연결된 계층 구조의 망이다<sup>[5,6]</sup>. 이더넷 스위치의 물리 포트 중 이웃 이더넷 스위치와 연결된 포트에 스페닝 트리 프로토콜이 구동하며 그 포트의 상태는 논리적으로 그림 2와 같은 상태 천이를 한다. 그리고 각 포트 상태에서 BPDU와 데이터 프레임의 송신 및 수신 처리에 대하여 표 1에 정리한다.

Disabled 포트 상태는 물리적으로 포트가 비활성화된 상태이고 그 이외는 물리적으로 포트가 활성화된 상태에서 스페닝 트리 알고리즘에 의하여 논리적으로

결정되는 포트 상태이다. 스페닝 트리 알고리즘의 2가지 중요한 기능은 루프를 갖지 않는 액티브 토폴로지 즉, 스페닝 트리를 계산하는 것과 망에 장애가 발생한 경우 그것을 감지하는 것이다<sup>[56]</sup>.

2. 선행 연구 조사 및 한계 극복

이더넷 망은 기존의 LAN 환경에서 점차 MAN과 WAN 환경으로 그 범위가 확대 되면서 많은 벤더들은 이더넷 망에서의 물리적인 망 연결 상태를 발견하기 위하여 나름대로 별도의 프로토콜이나 도구를 개발해 오고 있다. 하지만 타 장비와의 호환성 문제가 대두 되어 매트릭 이더넷 망에서의 한계를 갖는다.

가. 선행 연구의 한계

HP의 OpenView (www.openviewhp.com)와 IBM의 Tivoli (www.tivoli.com)와 같은 망 관리 도구는 SNMP 기반으로 동작하여 망의 토폴로지 발견을 자동으로 수행하지만 3계층 토폴로지만 발견할 수 있다. 이에 최근 이더넷 망에서의 토폴로지 발견에 대한 연구<sup>[7,8,9]</sup>가 활발히 수행되고 있으며 이 선행 연구들의 공통적으로 갖는 문제는 2계층 주소 학습 테이블에 의한 정보를 기반으로 하여 토폴로지 발견을 수행함에 따라 스페닝 트리만을 발견할 뿐 스페닝 트리 알고리즘에 의하여 포트 상태가 논리적으로 비활성화 상태에 있는 경로는 발견할 수 없다. 즉, 물리적인 토폴로지 발견은 불가능하다는 문제점을 모두 갖고 있다. 또한 최악의 경우 주소 학습 테이블의 정보가 에이징 아웃 되어 지워지게 되거나 토폴로지 변경이 발생하여 주소 학습 테이블의 정보가 모두 플러싱(flushing)될 경우엔 일시적으로 토폴로지 발견이 불가능하다는 문제점을 가지고 있다.

나. 제안 알고리즘의 기여

대부분의 이더넷 망은 저렴한 가격 때문에 망구축시 메시 구조의 토폴로지를 지향하여 망의 안정성을 증가시킨다. 선행 연구는 이러한 메시 구조의 토폴로지 발견은 못하고 스페닝 트리 프로토콜에 의하여 루프가 해제된 트리 토폴로지만을 발견할 수 있다. 하지만 우리가 제안한 알고리즘은 다중의 대체 물리적 경로도 모두 발견할 수 있다. 제안한 알고리즘에서 이더넷 망의 물리 토폴로지 발견을 위하여 망을 브리지 망과 호스트 망으로 구분하고 그 경계에 있는 브리지를 에지 브리지라고 한다. 망의 특성상 호스트 망에는 주소 학습 테이블의 포워딩 엔트리 정보를 이용하고 브리지 망에는 스

페닝 트리 프로토콜의 BPDU 정보를 이용함으로써 선행 연구가 갖는 에이징 아웃이나 토폴로지 변경이 발생시 지적한 문제점을 해결 할 수 있다. 또한 SNMP기반의 표준 MIB 정보만을 이용하기 때문에 다른 벤더에 의해 제작된 장비간의 호환성 문제도 발생하지 않는다.

III. 제안된 방법

이 절에서는 우리가 제안한 메시 구조의 이더넷 망에서 물리 토폴로지 발견을 위하여 필요한 정보 수집과 브리지 망과 호스트 망의 구분을 위한 에지 브리지 선출 방법 그리고 각 망에서의 토폴로지 발견 방법에 대하여 기술한다.

1. 스키마 정의 및 정보 수집

망관리 매니저는 제안한 알고리즘에 입력 데이터로 사용될 정보를 수집하기 위하여 이더넷 망에 있는 모든 브리지들에 탑재되어 구동하는 망관리 에이전트들로부터 장비의 인터페이스 MIB<sup>[3]</sup>의 일부와 브리지 MIB<sup>[4]</sup>의 일부 정보를 가져와서 데이터 베이스에 저장한다. 자세한 MIB 정보는 표 2, 3, 4, 5, 7 그리고 8과 같다. 여기

표 2. PTInterface 엔트리의 스키마  
Table 2. Schema of the PTInterface entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	매니저와의 SNMP 통신을 위한 에이전트 IP 주소
if_oper_status	브리지 장비의 각 포트의 물리 상태

표 3. PTDDot1dBase 엔트리의 스키마  
Table 3. Schema of the PTDDot1dBase entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	에이전트 IP 주소
dot1dBaseBridgeAddress	브리지 대표 MAC 주소

표 4. PTDDot1dStp 엔트리의 스키마  
Table 4. Schema of the PTDDot1dStp entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	에이전트 IP 주소
dot1dStpPriority	브리지 우선 순위
dot1dStpRootPort	루트 포트 번호

표 5. PTDDot1dStpPort 엔트리의 스키마  
Table 5. Schema of the PTDDot1dStpPort entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	에이전트 IP 주소
dot1dStpPort	STP가 활성화된 포트 번호
dot1dStpPortState	포트 상태 (그림 2 참고)
dot1dStpPortEnable	STP의 활성/비활성 상태
dot1dStpPortDesignatedBridge	이웃 브리지의 대표 MAC 주소

표 6. PeerBridgeDB의 구조

Table 6. Structure of the PeerBridgeDB.

PeerBridgeDB	agent_ip
	dot1dBaseBridgeAddress
	dot1dStpPort
	dot1dStpPortDesignatedBridge

표 7. PTDDot1dTpFdb 엔트리의 스키마

Table 7. Schema of the PTDDot1dTpFdb entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	에이전트 IP 주소
dot1dTpFdbAddress	동적으로 학습된 소스 MAC 주소
dot1dTpFdbPort	동적으로 학습된 수신 포트 번호
dot1dTpFdbStatus	생성된 근원 표시

표 8. PTDDot1dStatic 엔트리의 스키마

Table 8. Schema of the PTDDot1dStatic entry.

변수 이름	변수 설명
agent_ip	에이전트 IP 주소
dot1dStaticAddress	정적으로 설정된 소스 MAC 주소
dot1dStaticReceivePort	정적으로 설정된 수신 포트 번호

표 9. PeerHostDB의 구조

Table 9. Structure of the PeerHostDB.

PeerHostDB	agent_ip
	dot1dTpFdbAddress
	dot1dTpFdbPort

서 표 2, 3, 4 그리고 5는 브리지 망의 토폴로지 발견과 에지 브리지를 발견하기 위하여 사용되는 정보이다.

이더넷 망의 네트워크 연결, 즉 브리지 망의 연결 관계를 발견하기 위한 관련 정보를 PeerBridgeDB라는 자료 구조에 브리지 망 내부의 토폴로지에 대한 정보를 저장한다. PeerBridgeDB의 세부 엔트리는 표 6과 같다.

표 7과 8은 에지 브리지의 경우에만 호스트 망의 토폴로지를 발견하기 위하여 사용되는 정보이다.

에지 브리지와 호스트들 간의 연결 관계를 나타내기 위한 호스트 망의 토폴로지 발견에 대한 정보는 PeerHostDB라는 자료 구조에 저장한다. 세부 엔트리는 표 9와 같다.

표 6과 9에 명시된 정보 중 agent\_ip를 뺀 구성 정보는 브리지 망과 호스트 망의 물리 토폴로지를 발견하기 위한 정보이다.

## 2. 에지 브리지 선출

에지 브리지는 본 논문에서 정의하는 개념으로 이더넷 망에 있는 장비 중 호스트와 인터페이스를 1개 이상 가지고 있는 브리지를 말한다. 즉, 인터페이스 MIB의 ifEntry.ifOperStatus 값을 1로 갖는 인터페이스 개수가 dot1dStpPortEnable 값을 1로 갖는 인터페이스 개수 보

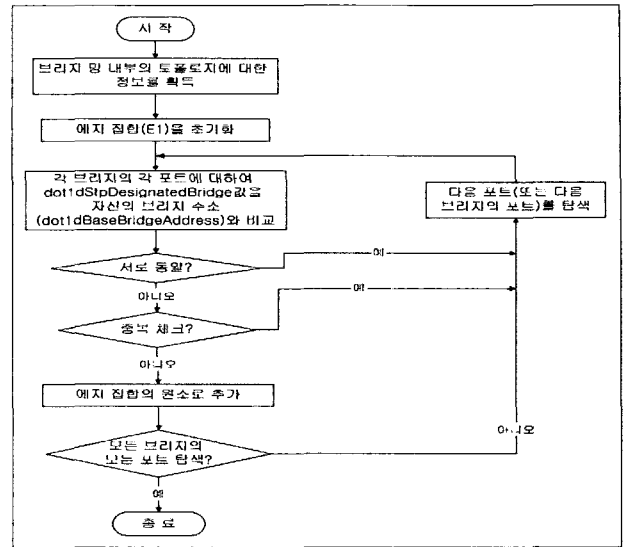


그림 3. 브리지 망 발견 순서도

Fig. 3. Flowchart for discovering Bridged network.

다 많으면 그 에이전트는 에지 브리지가 된다. 망 운용자는 장비의 포트 중 브리지 망에 연결된 인터페이스에 대해서만 STP를 활성화 하여야 한다. 왜냐하면 그렇지 않은 경우 (호스트 망에 인터페이스를 갖는 경우)에는 루프를 야기하지 않기 때문이다.

## 3. 브리지 망 발견

브리지 간의 물리적 연결 관계를 발견하기 위하여 PeerBridgeDB에 포함되어 있는 브리지 망 내부의 토폴로지에 대한 정보인 BridgeDB를 획득한 후, 자신 브리지와 이웃 브리지의 쌍으로 구성된 에지들의 전체 집합(E1)을 토폴로지 발견 이전의 초기상태로 설정한다. 그리고 상기 획득한 BridgeDB에 따라 각 브리지의 각 포트를 탐색하여 dot1dStpPortDesignatedBridge값을 자신의 브리지 주소와 비교하여 서로 동일하면 이웃 브리지가 아니므로 그림 3의 다음 과정으로 진행하고, 서로 다르다면 이미 탐색한 적이 있는지를 중복 체크한다. 중복 되지 않으면 자신 브리지와 이웃 브리지의 쌍으로 구성된 에지 집합(E1)의 원소로 추가한 후, 모든 브리지의 모든 포트에 대하여 적용하면 브리지 망에 대한 물리 토폴로지 발견이 완료된다.

그림 3에 나타낸 순서도의 초기 단계인 BridgeDB는 앞서 구한 PeerBridgeDB에서 agent\_ip를 뺀 구성 정보이다.

## 4. 호스트 망 발견

에지 브리지와 호스트 망간의 물리적 연결 관계를 발

견하기 위하여 HostDB 정보, 즉 에지 브리지와 호스트 망간의 연결 정보를 획득한 후, 에지 브리지와 호스트의 쌍으로 구성된 에지들의 전체 집합(E2)을 토폴로지 발견 이전의 상태로 초기화 한다.

이후, 각 브리지의 각 포트를 탐색하여 HostDB에 설정된 dot1dTpFdbAddress, 즉 이웃 호스트가 존재하는지를 확인하여, 이웃 호스트가 존재하면 그 이웃 호스트의 개수가 2개 이상인지를 확인하여 2개 이상이면 에지 브리지가 허브를 통하여 호스트와 연결된 것이고, 발견된 에지 브리지와 호스트 쌍을 에지들의 전체 집합(E2)의 원소로 추가한다. 만일 이웃 호스트가 존재하지 않으면 다음 포트(또는 다음 브리지의 포트)를 탐색하여 진행한다. 한편, 상기 확인 결과 dot1dTpFdbAddress값이 1개만 존재하면 에지 브리지와 호스트가 직접 연결된 것이고 발견된 에지 브리지와 호스트 쌍을 에지들의 전체 집합(E2)의 원소로 추가한다. 이와 같은 과정을 모든 에지 브리지의 모든 포트에 대하여 적용하면 호스트 망에 대한 물리 토폴로지 발견이 완료된다. 여기서 모든 포트는 STP가 활성화되지 않고 ifOperStatus가

업(UP) 상태인 포트를 의미 한다.

그림 4에 나타낸 순서도의 초기 단계인 HostDB는 앞서 구한 PeerHostDB로부터 다음과 같이 구성된다.

수식 1은 브리지 망의 중간에 위치하는 브리지에서 주소 학습 되는 테이블(AFT) 사이즈를 계산한 값으로 브리지 망 내의 모든 브리지는 동일한 값을 갖는다. 수식 1에서 CB는 core bridge를 나타내고 DB는 designated bridge를 나타낸다.

$$n(AFT_{CB}) = \sum_{activeport=i}^{activeport=j} n(AFT_{activeport'sDB}) \quad (1)$$

본 논문에서 제안한 토폴로지 발견 방법은 브리지 망 내부의 물리적 연결 관계를 발견하기 위하여 주소 학습 테이블을 사용하지 않기 때문에 선행 연구<sup>[7]</sup>에서 수식 1과 같은 오버 헤드를 갖는 문제를 해결할 뿐만 아니라 스페닝 트리 프로토콜의 BPDU값을 활용함에 따라 쉽게 브리지 망 내부의 토폴로지 발견이 가능하다. 또한 토폴로지 변경이 이더넷 망에 발생한 경우 모든 주소 학습된 정보 들을 제거해야 하는데 이 경우 선행 연구들<sup>[7,8,9]</sup>에 의해서는 토폴로지 발견 자체가 불가능하다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법은 토폴로지 변경 시 재 계산을 실시한 스페닝 트리 프로토콜에 의하여 변경된 토폴로지 발견이 가능하다.

#### IV. 구현 및 실험

##### 1. 구현

본 논문에서 제안한 이더넷 메시 망에서의 물리 토폴로지 발견 알고리즘을 구현하기 위한 소프트웨어 블록은 4개로 그림 5에서 보여주는 바와 같이 GUI 블록, RMI 서버 블록, Manager 블록, 그리고 데이터 베이스 블록으로 구분된다. Agent 블록은 이더넷 메시 망 내부에서 구동 중인 이더넷 스위치 장비 내부에서 동작하며 원격의 망 관리 매니저와는 SNMP 통신 모듈을 통하여 정보를 주고받는다. 데이터 베이스 블록을 기준으로 Manager 블록에 있는 DB 연동 모듈은 수집 된 정보를 데이터 베이스에 저장하는 일을 담당하고 RMI 서버 블록에 있는 DB 연동 모듈은 GUI에 의해 알고리즘 적용 모듈을 수행하기 위하여 필요한 정보를 데이터 베이스로 가져오는 기능을 담당한다. 이와 같이 정보 수집 블록과 물리 토폴로지 발견 알고리즘 적용 블록을 독립적으로 구동함으로써 정보수집 시 발생하는 통신 지연과 같은 문제를 최소화 할 수 있으며 한번 습득된 정보는

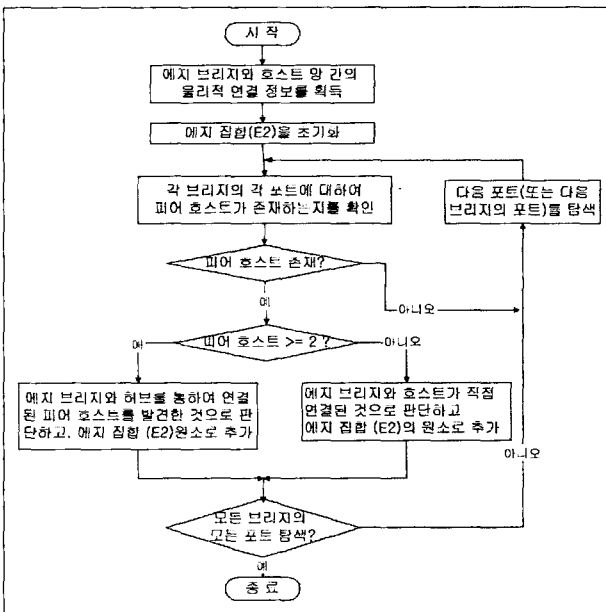


그림 4. 호스트 망 발견 순서도

Fig. 4. Flowchart for discovering Host network.

표 10. HostDB의 구조

Table 10. Structure of the HostDB.

<i>HostDB</i>	dot1dBaseBridgeAddress
	dot1dTpFdbAddress (또는 dot1dStaticAddress)
	dot1dTpFdbPort (또는 dot1dStaticReceivePort)

데이터 베이스에 저장해 둬으로써 망 관리 제어 메시지의 망 내부 발생을 최소화 할 수 있다. 위 모듈 중 III장 1절에서 기술한 정보 수집은 망 관리 매니저 내부의 스키마 정의 모듈에서 최소의 MIB 정보만을 정의하고 SNMP 통신 모듈을 통하여 수집된 정보는 DB 연동 모듈을 통하여 데이터 베이스에 저장된다. 그리고 III장 2절, 3절, 그리고 4절에 기술된 기능은 GUI 블록 내부에 있는 알고리즘 적용 모듈에서 수행된다. 여기서 RMI 서버는 GUI의 클라이언트와 접속하는 RMI 모듈과 망관리 매니저와 통신하는 통신 모듈, 그리고 데이터 베이스와 연동하는 DB 연동 모듈로 구성되어 있다. RMI는 네트워크 상으로 다른 자바 응용 모듈과 통신할 수 있는 자바 응용 프로그램을 만들기 위해 사용된다. 간단히 설명하면 RMI는 어떤 응용 프로그램에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 응용 프로그램의 메소드를 호출하거나 이 응용 프로그램의 변수에 접근할 수 있게 하고 객체를 네트워크를 통해 주고 받을 수 있게 하는 것을 의미한다. 이것은 원거리의 다른 시스템과 다른 자바 환경에서도 동작할 수 있다는 것을 의미한다. 망 관리를 위한 GUI 프로그램을 RMI를 통하여 매니저에 접근함으로써 좀 더 편리하고 안전한 분산 응용 모듈을 구성할

수 있다.

각 블록의 소프트웨어의 개발 환경은 표 11과 같다.

### 2. 실험 및 결과

#### 가. 실험

그림 6은 메시 구조의 이더넷 망에서 물리 토폴로지 발견을 위해 구축된 시험 망을 나타낸다. 이 시험 망은 12개의 브리지와 193개의 호스트로 구성 되었으며 브리지로 사용된 이더넷 스위치 장비는 시스코의 Catalyst3550, 리버스톤의 RS1000과 RS3000, 그리고 팍스콤의 NDX2104와 NGX2104 장비 이며, 호스트는 IXIA 시험기로 대신하였다. 이더넷 메시 망에 존재하는 12개의 브리지는 망관리 매니저와의 통신을 위하여 허브를 통하여 192.168.10.x 망에 연결되었으며 GUI를 제공하는 노트북과 매니저 및 RMI 서버를 담당하는 리눅스 시스템 역시 동일한 허브를 통하여 192.168.10.x망에 연결되어 통신이 서로 가능하게 망을 구축하였다. 다양한 벤더의 제품을 사용함으로써 본 논문에서 제시한 알고리즘이 표준 MIB을 활용함에 따라 벤더 의존적이 속성 없이 구축된 시험 이더넷 망에서 정확한 물리 토폴로지가 가능함을 확인한다.

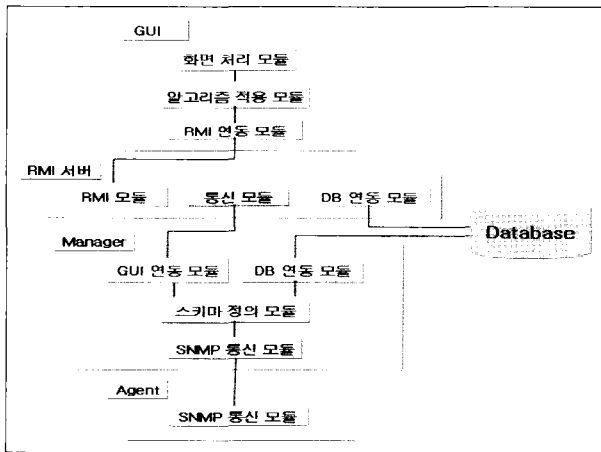


그림 5. GUI-RMI-Manager-Agent 구조도  
Fig. 5. Low level diagram of GUI-RMI-Manager-Agent.

표 11. 소프트웨어 개발 환경  
Table 11. Software development environment.

블럭명	개발 플랫폼	개발 언어	사용DBMS
GUI	윈도우 XP	JDK (버전1.4.2 이상)	없음.
RMI 서버	리눅스 (커널2.4.20-8)	JDK (버전1.4.2 이상)	MySQL (버전3.23.58이상)
매니저	리눅스 (커널2.4.20-8)	C/C++ (gcc버전3.2.2이상)	MySQL (버전4.0.20이상)

#### 나. 결과

본 논문에서 추구하는 목표는 스페닝 트리 프로토콜에 의하여 제거된 많은 물리 링크를 포함하여 메시 구조의 이더넷 망에서의 물리 토폴로지를 정확하게 발견하는 것이다. 시험 결과 우리는 스페닝 트리 프로토콜에 의해 계산된 트리 구조 뿐만 아니라 물리적으로 활성화 상태지만 논리적으로 비활성화 상태인 인터페이스

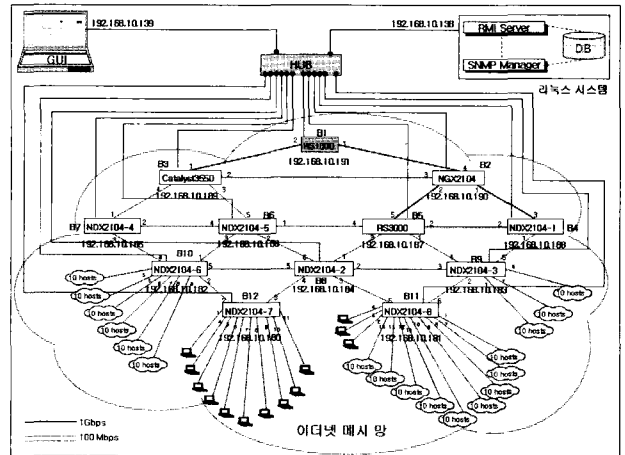


그림 6. 이더넷 메시 망  
Fig. 6. Ethernet Mesh Network.

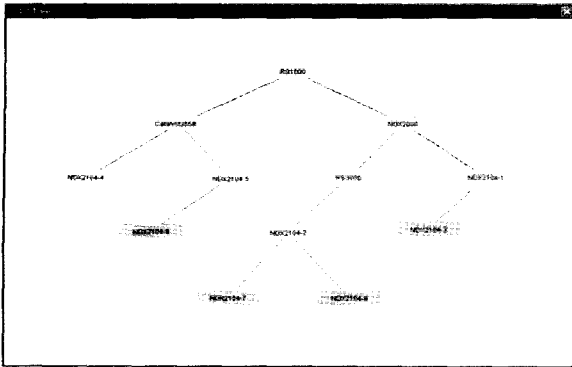


그림 7. 액티브 망 토폴로지 발견 결과  
Fig. 7. Result of discovering active network.

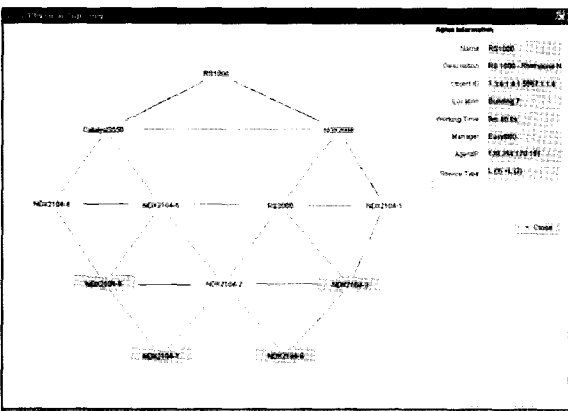


그림 8. 이더넷 메시 망의 물리 토폴로지 발견 결과  
Fig. 8. Result of discovering Ethernet mesh network.

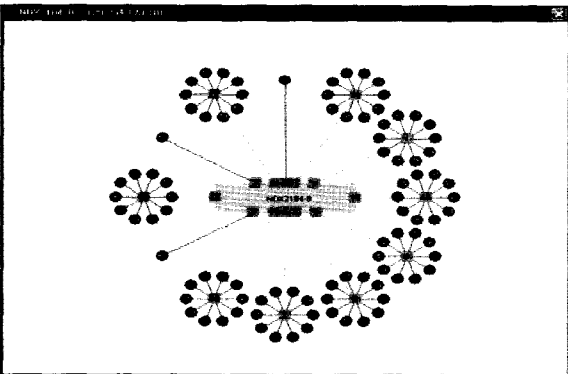


그림 9. 호스트 망 토폴로지 발견 결과  
Fig. 9. Result of discovering Host network.

를 갖는 그래프에 대한 토폴로지도 발견할 수 있었다. 그림 7은 이더넷 메시 망 6에 대한 스페닝 트리를 발견한 결과를 보여준다. 스페닝 트리의 루트 브리지는 다른 브리지와 다른 색으로 표현 하여 구분이 용이하도록 하였다.

그림 8은 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용하여 발견한 메시 구조의 이더넷 망에 대한 물리 토폴로지를 발견한 결과를 나타낸다. 에지 브리지를 코어 브리지와 쉽게 구분이 가능 하도록 파란 색으로 표현 하였으며

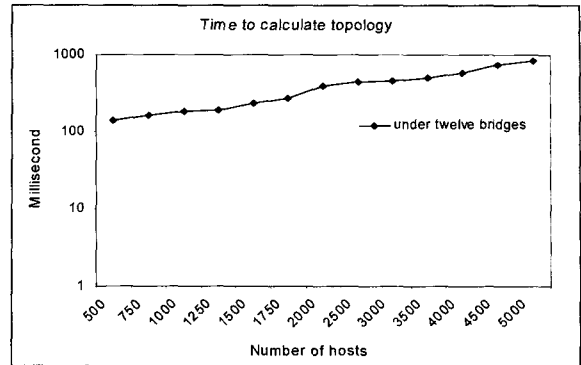


그림 10. 호스트 개수에 따라 물리 토폴로지 발견 계산 성능

Fig. 10. The performance of the time to calculate topology with varying numbers of hosts.

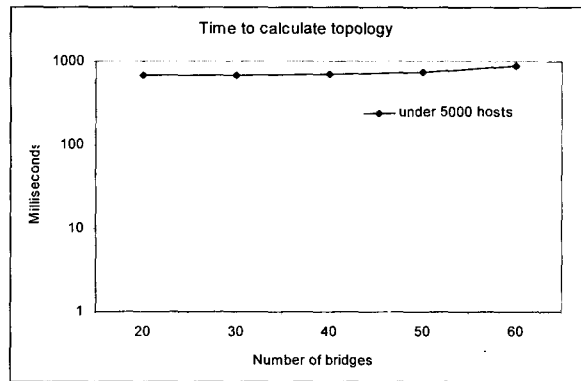


그림 11. 브리지 개수에 따라 물리 토폴로지 발견 계산 성능

Fig. 11. The performance of the time to calculate topology with varying numbers of bridges.

시험 결과 NDX2104-3, NDX2104-6, NDX2104-7, 그리고 NDX2104-8이 에지 브리지를 나타낸다.

에지 브리지 중 하나인 NDX2104-8을 마우스로 누르면 그림 9와 같은 그 에지 브리지에 연결된 호스트 망을 발견한 결과를 팝업 창 표시 하였다. 그림 9에서 보여주는 호스트 망의 경우 에지 브리지 NDX2104-8의 포트 1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 그리고 14는 허브를 통하여 10개의 호스트들이 각 포트에 연결되어 있는 토폴로지를 발견한 결과이고 포트 2, 3, 그리고 4번은 한 개의 호스트와 직접 연결된 토폴로지 발견 결과를 보여준다.

물리 토폴로지를 정확하게 발견하는 것이 가장 중요 하지만 우리가 제안한 알고리즘의 성능을 판단하기 위하여 우리는 물리 토폴로지 발견 계산 시간을 측정하였다. 그림 10과 11은 펜티엄 4 2.20GHz 성능의 프로세서가 동작하는 Window XP가 구동하는 노트북에 GUI 블록을 구현한 후 그림 6에서 도시한 시험 망에 대하여 호스트 개수와 이더넷 스위치 개수를 변화 하면서 물리

토폴로지 발견 알고리즘의 계산 성능 결과를 보여준다.

#### IV. 결 론

이더넷 망에서의 토폴로지 발견 관련 선행 연구들은 스페닝 트리 프로토콜에 의해 계산된 트리 토폴로지만을 발견할 뿐 실제 물리 토폴로지를 발견할 수 없었다. 또한 기존의 연구는 토폴로지 발견 알고리즘의 입력 정보를 2계층 포워딩 테이블에 만 의존하기 때문에 에이징 아웃 되는 경우나 이더넷 망의 토폴로지 변경이 발생하는 경우 위 정보의 부재로 인하여 토폴로지 발견 자체가 일시적으로 불가능 하며 메시 구조의 토폴로지는 아예 발견할 수 없다는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 SNMP 기반의 망 관리 환경에서 이더넷 메시 망의 물리 토폴로지를 발견하기 위한 새롭고 현실적인 알고리즘을 제안 하였으며 망 관리 시스템을 개발하여 상용 이더넷 스위치로 구성된 시험 망에서 정확한 메시 구조의 물리 토폴로지 발견이 가능함을 입증 하였다.

#### 참 고 문 헌

[1] Ralph Santitoro, *Metro Ethernet Services-A Technical Overview*, In the Metro Ethernet Forum 2003, <http://www.metroethernetforum.org>.

[2] A. Bierman and K. Jones, *Physical Topology MIB*, Sept. 2000, Internet RFC-2922 (available from <http://www.ietf.org/rfc/>).

[3] K. McCloghrie and F. Kastenholz, *The Interface Group MIB*, June 2000, Internet RFC-2863 (available from <http://www.ietf.org/rfc/>).

[4] E. Decker and P. Langille, *Definitions of Managed Objects for Bridges*, July 1993, Internet RFC-1493 (available from <http://www.ietf.org/rfc/>).

[5] Robert Breyer and Sean Riley, *Switched, Fast, and Gigabit Ethernet*, Third Edition, Macmillan Technical Publishing.

[6] ANSI/IEEE Std 802.1D, *Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges*, IEEE, ISO/IEC 15802-3: 1998, 1998.

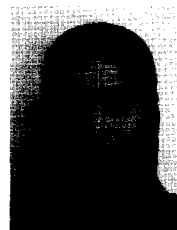
[7] Yuri Breibart, Minos Garofalakis, Cliff Martin, Rajeev Rastogi, S. Seshadri, and Avi Silberschatz, "Topology Discovery in Heterogeneous IP Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 265-274, Tel Aviv, Israel, March 2000.

[8] Bruce Lowekamp, David R. O'Hallaron, and

Thomas R. Gross, "Topology Discovery for Large Ethernet Networks," ACM SIGCOMM 2001, pp. 237-248, San Diego, California, USA, August 2001.

[9] Yigal Bejerano, Yuri Breibart, Minos Garofalakis, and Rajeev Rastogi, "Physical Topology Discovery for Large Multi-Subnet Networks," IEEE INFOCOM 2003, pp. 342-352, San Francisco, USA, April 2003.

#### 저 자 소 개



손 명 희(학회회원)  
 1998년 충남대학교  
 항공우주공학과 공학사  
 2000년 충남대학교  
 컴퓨터공학과 공학석사  
 2005년 충남대학교  
 정보통신공학과 박사수료  
 2000년~현재 한국전자통신연구원 연구원  
 <주관심분야 : 프로토콜, 이더넷, 네트워크 토폴로지 발견>



김 병 철(정회원)  
 1988년 서울대학교  
 전자공학과 공학사  
 1990년 한국과학기술원  
 전자공학과 공학석사  
 1996년 한국과학기술원  
 전자공학과 공학박사  
 1993년~1999년 삼성전자 CDMA 개발팀  
 1999년~현재 충남대학교 정보통신공학부 조교수  
 <주관심분야 : 이동인터넷, 이동통신 네트워크, 데이터 통신>



이 재 용(정회원)  
 1988년 서울대학교  
 전자공학과 공학사  
 1990년 한국과학기술원  
 전자공학과 공학석사  
 1995년 한국과학기술원  
 전자공학과 공학박사  
 1990년~1995년 디지콤 정보통신연구원 선임연구원  
 1995년~현재 충남대학교 정보통신공학부 부교수  
 <주관심분야 : 초고속 통신, 인터넷, 네트워크 성능분석>