

# Mini-MAP 시스템의 결함 허용성을 위한 결합 감지 및 복구 기법

## A Fault Detection and Recovery Mechanism for the Fault-Tolerance of a Mini-MAP System

문 흥 주, 권 육 현  
(Hong-Ju Moon and Wook Hyun Kwon)

**Abstract :** This paper proposes a fault detection and recovery mechanism for a fault-tolerant Mini-MAP system, and provides detailed techniques for its implementation. This paper considers the fault-tolerant Mini-MAP system which has dual layer structure from the LLC sublayer down to the physical layer to cope with the faults of those layers. For a good fault detection, a redundant and hierarchical fault supervision architecture is proposed and its implementation technique for a stable detection operation is provided. Information for the fault location is provided from data reported with a fault detection and obtained by an additional network diagnosis. The faults are recovered by the stand-by sparing method applied for a dual network composed of two equivalent networks. A network switch mechanism is proposed to achieve a reliable and stable network function. A fault-tolerant Mini-MAP system is implemented by applying the proposed fault detection and recovery mechanism.

**Keywords :** Mini-MAP, fault-tolerance, fault detection, fault recovery

### I. 서론

산업용 표준 통신망으로 널리 사용되는 MAP은 7개의 계층으로 구성된 Full-MAP과 물리 계층(physical layer), 데이터 링크 계층(data link layer), 응용 계층의 3 계층으로 이루어진 Mini-MAP으로 나누어지며, Mini-MAP은 실시간 특성을 만족시키기 위한 시스템에 주로 사용된다[1]. Mini-MAP의 대표적인 응용 계층으로 MMS (Manufacturing Message Specification)가 사용된다.

데이터 링크 계층은 다시 MAC 부계층 (Medium Access Control sublayer)과 LLC 부계층 (Logical Link Control sublayer)으로 구분되어진다. MAC 부계층은 IEEE 802.4 [2]에 규정된 토큰 전달 방식의 제어와 관리를 수행하며, LLC 부계층은 IEEE 802.2[3]에 규정된 대로 데이터를 오류 없이 순서대로 시간에 맞춰 전송하는 기능들을 수행한다. Mini-MAP이 흔히 적용되는 공장자동화, 각종 분산제어 시스템 등은 고신뢰성을 요구하는 경우가 많아서, 흔히 결합 허용(fault-tolerant) 시스템으로 구성된다 [4][5]. 이러한 시스템의 예에는 발전소 제어 시스템, 비행기 제어 시스템, 각종 화학 공정 제어 시스템 등이 있으며, 이들의 경우 시스템에 결함이 발생하여 시스템이 동작하지 않는 경우에는 심각한 상황이 벌어질 수 있다. 시스템의 결함(fault)은 시스템의 하드웨어나 소프트웨어의 어느 한 부분에 이상이 있는 것을 말하며, 결함의 결과로 오동작(error)을 하게 되고, 이로 인하여 시스템이 주어진 기능을 수행하지 못하게 되면 고장(failure)이 발생하게 된다[6]. 결합 허용 시스템의 목적은 신뢰도(reliability), 가용도(availability), 안전도(safety), 수행도(performability), 유지보수도(maintainability), 시험도(testability), 의존도(dependability) 등을 높이기 위한 것이다[6][7]. 결합 허용성을 갖도록 하기 위해서 잉여성 (redu-

dancy)을 넣게 되며, 대상과 방법에 따라 하드웨어 잉여성(hardware redundancy), 정보 잉여성(information redundancy), 시간 잉여성(time redundancy), 소프트웨어 잉여성(software redundancy)으로 나눌 수 있다[6].

통신망은 정보의 교환을 담당하는 매우 중요한 부분이므로, 고신뢰도를 요구하는 시스템에 적용되는 통신망의 경우 여러 종류의 결합 허용 통신망이 개발되어 사용되고 있다 [4][8]-[10]. Mini-MAP 역시 고신뢰성 시스템에 적용되는 경우, 결합 허용성을 갖도록 해야 한다. 결합 허용 MAP의 연구에는 물리 계층이 이중화된 Mini-MAP 시스템인 ADMAP [9]와, 수정된 형태의 Full-MAP 시스템에서 물리 계층을 이중화시킨 MAP Mining [10]이 있다.

앞에서 나열된 연구들은 각 결합 허용 MAP 시스템의 대략적인 구성만이 서술되어 있고, MAP에서의 결합 감지 및 복구를 위한 기법이 연구되어 발표된 바가 없다. [11]에서만 LLC 부계층 이하를 이중화한 결합 허용 Mini-MAP을 구현하기 위한 이론적인 기초 내용이 일부 연구되어 있다. 따라서, 본 논문에서는 [11]의 내용을 발전시켜 결합 허용 Mini-MAP을 얻기 위한 핵심 요소인 결합 감지 방법 및 결합 복구 방법을 구현하기 위한 효과적인 기법을 연구한다. 결합 감지를 위하여 [11]에서 제안된 접근방법을 바탕으로 구현시 감시해야 하는 사건들을 연구하고 하드웨어 및 소프트웨어로 구현하는 방법을 제시한다. 결합 복구를 위해서는 [11]에서 제안된 방법을 발전시켜, 불필요한 복구 동작 및 과다한 결합 사건들에 대한 대처 기능을 포함시킴으로써 안정된 동작을 확보하도록 한다. 또한, 결합 발생 요인의 검출 방법을 제시함으로써 결함이 발생한 부분의 수리가 용이하도록 한다. 제안되는 결합 감지 및 결합 복구 기능은 기존의 Mini-MAP 시스템의 사용자에 대한 투명성이 보장되는 기법으로 구현된다.

본 논문에서는 LLC 부계층 이하에 대해 대기 교체 방법(stand-by sparing)을 적용하여 LLC 부계층 이하를 이중화시키는 결합 허용 Mini-MAP 시스템을 대상으로 한다. 본

논문에서 연구되는 결합 허용 Mini-MAP 시스템은 고신뢰성을 요구하면서, 일회의 통신 지연시간의 수배정도의 상대적으로 긴 복구시간을 허용하는 시스템을 적용 대상으로 한다. 적용 대상 시스템의 예로는 KEDIC (Korea Electric Distributed Control) 시스템 [12][13]과 같은 화력발전소의 분산제어시스템이 있다.

II장에서 결함을 감지하기 위한 기법을 제안하고, III장에서 결함을 복구하기 위한 기법을 제안한다. IV장에서 제안된 방법을 사용한 결합 허용 Mini-MAP 시스템의 구현 예를 보인다. 마지막으로 V장에서 결론을 짓는다.

## II. 결합 감지 기법

본 장에서는 Mini-MAP의 결함을 감지하기 위한 기법을 제안한다. I장에서도 밝힌 바와 같이 본 논문에서는 LLC 부계층 이하의 결함을 대상으로 하고 있다.

결함을 감지하기 위해서 Mini-MAP의 각 부분의 동작을 감시한다. 결합의 결과라고 생각되는 이상상태가 발견되면 결합 발생이 보고된다. LLC 부계층이하의 감시를 위해서는 용용계층에서 통신이 정상적으로 이루어지고 있는지를 감시하는 것만으로도 충분하지만, 보다 신속하고 확실하게 결합을 감시하기 위하여 본 논문에서는 그림 1과 같이 계층적인

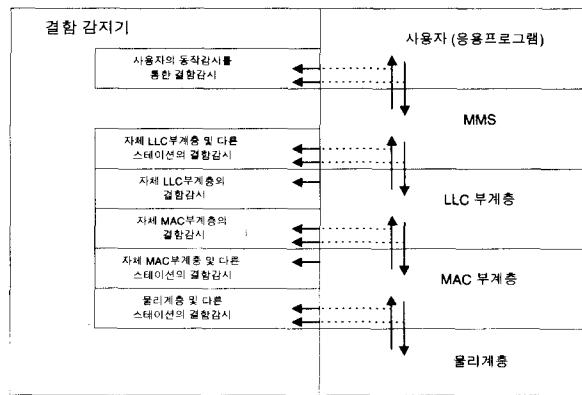


그림 1. 결합 감지의 계층 구조.

Fig. 1. Hierarchy of the fault detection mechanism.

중복 감시구조를 제안한다. 감시장치의 각 부분에서는 해당 계층 및 하위계층을 감시함으로써 하나의 결합이 여러 감시장치에 의해 감시되도록 하여 확실한 결합 감지 기능을 수행하도록 하였다. 신속한 감지를 위하여 MAC 부계층에서 통신망의 동작을 감시하고 확실하고 안전한 감지를 위하여 상위계층에서 동시에 통신망의 동작을 감시한다. 또한, 한 스테이션내에서의 결합이나 물리계층에서의 결합이 여러 스테이션에 의해 감시될 수 있는 구조로 되어 있다. 제안되는 방법은 개발비용의 절감을 위해 기존의 일반 Mini-MAP에 약간의 추가적인 프로그래밍을 통해 효과적으로 결합 감시를 할 수 있도록 하였다. 먼저 물리 계층의 결합 감지 기법을 서술하고, MAC 부계층의 결합 감지, LLC 부계층의 결합감지, 통신 접속부의 결합 감지 순으로 서술하겠다.

물리 계층의 결합으로는 케이블의 단락 또는 불량, 모뎀의 고장을 고려한다. 결합의 감지를 위해서는 결합의 결과로 나타나는 이상 현상을 구분해 내야 한다. 결합의 결과로 나타나는 이상현상은 검사를 통하여 발견할 수도 있고, 동작 중에 동작 상태를 감시하여 발견할 수도 있다. 물리 계층에 결합이 발생할 경우 토큰 전달방식의 IEEE 802.4 버스 통신망에서는 논리적 링이 망가지는 현상이 발생하거나, MAC 부계층에서 전송한 프레임이 깨져서 외란 또는 부적

절한 프레임이 수신되는 현상이 발생한다. 즉, 물리 계층에 통신 장애를 초래할 정도의 결합이 발생할 경우 반드시 토큰 버스상의 논리적 링이 붕괴되므로, 물리 계층의 결합은 MAC 부계층의 논리적 링 관리 기능을 이용하여 감지가 가능하다.

MAC 부계층은 접속기(interface machine), 접근제어기(access control machine), 수신기(receive machine), 송신기(transmit machine)와 선택적으로 존재하는 재발생반복기(regenerative repeater machine)의 다섯 부분으로 이루어진다[2]. 이중에서 접근제어기가 버스에 대한 전송권을 관리하는 기능을 갖는다. 접근제어기는 미디어의 사용 권리를 부여하기 위해서, 논리적 링을 구성하고 이 논리적 링의 순서에 따라 토큰을 차례로 전달하여 미디어의 사용권리를 전달하며 이 논리적 링을 유지 보수하는 기능을 갖는다. 고장이나 외란을 고려한 접근제어기의 논리적 링의 유지 보수 기능은 다음과 같다 [2][14].

접근제어기는 PASS\_TOKEN상태에서 내부변수 pass\_state가 값 pass\_token일 때 토큰을 전달한 후 토큰이 제대로 전달되었는지를 검사하여 다음 스테이션이 링에서 빠져나가거나 고장으로 인해 토큰을 받지 못하는 경우, 접근제어기에서는 token\_pass\_failed의 천이(transition)가 일어나고 내부변수 pass\_state의 값은 pass\_token에서 repeat\_pass\_token으로 바뀌어 토큰을 재전송한다. 토큰의 재전송에서도 실패하면 내부변수 pass\_state의 값은 send\_who\_follows로 바뀌고 논리적 링 상에서의 다음 스테이션을 찾기 위해 who\_follows 프레임을 전송한다. 그 다음 스테이션도 who\_follows 프레임에 대한 응답이 없으면 내부변수 pass\_state의 값은 solicit\_any로 바뀌고 링 상에 존재하는 모든 스테이션에서 새로운 후속자를 찾는다. 만약 링 상의 모든 스테이션들이 전부 사라지거나 자신이 수신 불능 상태에 빠지게 되면 접근제어기의 상태 IDLE에서 bus\_idle\_timer\_expired의 천이가 발생하여 새롭게 링을 구성하려 하거나 새로운 스테이션이 링에 추가되기를 기다린다.

이와 같은 MAC 부계층의 논리적 링 유지 및 보수 기능은 토큰 전달방식의 링 상에서 논리적 링 안에 추가 및 탈퇴가 각 스테이션마다 독립적으로 이루어지도록 하기 위한 것이다. 그러나, 버스 상에 연결된 스테이션들이 고정된 상태로 있어서 정상적인 이유로는 추가 및 탈퇴가 발생하지 않을 경우에는 위에서 설명한 동작들은 오직 물리 계층의 결합 또는 MAC 부계층의 결합에 의해서만 발생가능하다. 본 논문에서는 두개 이상의 스테이션이 통신망에 연결되어 있고, 통신망에 연결된 모든 스테이션은 수신 및 송신이 가능한 경우를 가정한다. MAC 부계층에서는 응답없는 전송(RWNR; Request With No Response)만을 가정한다.

다음은 정상적으로 논리적 링이 유지되다가 물리 계층 또는 MAC 부계층에 결함이 발생하여 접근제어기에서 발생가능한 사건들을 나열하고 각각의 현상을 설명한 것이다.

no\_successor\_1 논리적 링에 자신밖에 없다고 판단되는 경우, repair\_demand\_in 자신이 논리적 링 내에 있었으나 결함이 발생하여 링에서 무시되었다가 다시 링 안으로 들어오도록 요구되는 경우, duplicate\_address\_1 자신과 같은 MAC 주소를 갖는 스테이션이 감지된 경우, no\_token 논리적 링상에서 토큰이 유실되는 경우, token\_pass\_failed 토큰 전달에 실패하는 경우, who\_follows\_query 논리적 링 상에서 후속 스테이션에 토큰전달에 실패하여 후속 스테이션의 후속 스테이션을 찾게되는 경우, solicit\_any 논리적 링 상에서 후속 스테이션의 후속 스테이션을 찾는 것에도 실패하여 새로운 후속 스테이션을 정하게 되는 경우, silent\_pass\_to\_self

토큰 전달 및 새로운 후속 스테이션의 선정에 실패하였으나 전송할 것이 남아있어서 전송을 재개하게 되는 경우. sole\_station 토큰 전달 및 새로운 후속 스테이션의 선정에 실패하고 전송할 것이 없어서 대기하게 되는 경우 중에서 자신이 논리적 링 상의 유일한 스테이션으로 판단한 경우. no\_successor\_8 sole\_station의 경우와 같으나, 아직 자신이 논리적 링 상의 유일한 스테이션으로 판단되지는 않은 경우. no\_future 토큰 전달 및 새로운 후속 스테이션의 선정이 정해진 횟수 이상으로 많이 발생하여 모든 동작을 중지하게 되는 경우. unexpected\_frame\_10 자신이 토큰을 갖고 있는데, 또 다른 스테이션이 토큰을 갖고 있는 것처럼 동작하고 있는 경우.

위에서 나열한 사건들을 MAC 부계층에서 감시하면 물리 계층이나 MAC 부계층의 결함발생을 감지해 낼 수 있다. MAC 부계층을 구현한 것으로는 MC68824 [15]가 널리 쓰이고 있다. MC68824에는 위에서 나열한 사건들을 인터럽트를 통하여 감시할 수 있는 기능이 제공되고 있으며, 그 외에 MC68824에서 제공하는 통신망 상태의 통계자료를 이용하면 MC68824의 특정 항목의 값들이 증가하는 것을 감시함으로써 물리 계층 또는 MAC 부계층의 감시가 가능하다. 위에서 나열한 이상사건들을 검출하기 위한 MC68824의 통신망 상태 통계자료의 항목들을 표 1에 정리하였다.

표 1. MC68824의 통신망 상태 통계자료 항목  
Table 1. MC68824 statistics items for the network operation.

번호	항목	통계치의 증가요인
1	No Successor 1	no_successor_1 발생.
2	Duplicate MAC Address Detected	duplicate_address_1 발생.
3	Bus Idle Timer Expired	no_token 발생.
4	Token Pass Failed	token_pass_failed 발생.
5	Who Follows	who_follows_query 발생.
6	Solicit Any Arc of the ACM Performed	solicit_any 발생.
7	No Successor, No Successor 8	no_successor_8 발생.
8	Faulty Transmitter	no_successor_8 <sup>o1</sup> 7회이상 발생.
9	FCS Errors, E-Bit Errors, Frame Fragments	손상된 프레임 수신.
10	Modem Error	모뎀의 이상 감지.
11	Bus/Address Error	MAC 부계층의 기본 기능 이상.

이들 항목에 한계치(threshold)를 설정해 놓으면 MC68824에서 한계치를 넘을 때 인터럽트를 발생시킨다. 각 항목의 한계치들은 시스템 운영자가 적절히 설정할 수 있다. 예를 들면, No Successor 1, Duplicate MAC Address Detected, Bus Idle Timer Expired, Who Follows, Solicit Any Arc of the ACM Performed, No Successor, No Successor 8, Bus/Address Error들은 한번만 발생해도 심각한 결함의 결과로 해석할 수 있으므로 한계치를 1로 하는 것이 좋다. Token Pass Failed는 순간적인 결함의 결과일 수도 있으므로 모두 감시하고 싶은 경우 1로 하고, 순간적인 결함으로 간주하여 1보다 큰 적당한 값으로 설정할 수도 있다. Faulty Transmitter, FCS Errors, E-Bit Errors, Frame Fragments, Modem Error들은 장기간에 걸친 결함 감시를 위해 사용하기에 적당한 항목들이다. Faulty Transmitter는 no\_successor\_8이 지속적으로 발생하는 것을 감시할 수 있으며, FCS

Errors, E-Bit Errors, Frame Fragments, Modem Error 등은 외부의 외란에 의한 결과로도 발생하기 쉽고 순간적인 결함의 결과일 가능성성이 높으므로 1보다 큰 적당한 값으로 설정하는 것이 좋다.

MAC 부계층을 이용한 결합의 감시는 일단 논리적 링이 구성된 이후부터 수행되도록 한다. 논리적 링이 구성된 시점은 감지하기 위하여 토큰 전달 시점을 기준으로 한다. 토큰의 전달이 완료되었다는 것은 토큰이 수신되었고, 후속 스테이션이 정해져서 그 스테이션으로 토큰 프레임이 전송되었고 프레임의 정상적인 수신동작을 통하여 전달의 성공이 확인되었음을 뜻한다. MC68824의 기능을 사용하여 토큰 전달을 감시하기 위해서는 통신망 상태 통계 자료 항목 중에서 Token Passed를 이용하면 된다. 이 항목의 초기값을 0으로 하고 한계치를 2정도로 하여 토큰 전달을 감시한다. 토큰 전달이 감지되어 링 구성이 완료되었음이 감지되면 Token Passed에 대한 인터럽트 기능을 정지시킨다. MAC 부계층이 스스로 행하는 결합의 감시 이외에 LLC 부계층에서도 MAC 부계층의 동작을 감시한다. LLC 부계층의 접속 MA\_UNITDATA.indication, MA\_UNITDATA.confirm의 세 가지 프리미티브(primitive)를 통해 MAC 부계층과 접속 MA\_UNITDATA.request를 사용하여 이 요구를 MAC 부계층에 전달하고, 전송요구에 대한 결과로 MA\_UNITDATA.confirm이 MAC 부계층으로부터 LLC 부계층 쪽으로 발생하여 성공 혹은 실패의 여부를 알려준다. MAC 부계층에서 데이터가 수신되면 MAC 부계층에서는 MA\_UNITDATA.indication을 LLC 부계층 쪽으로 발생시켜 이를 전달한다. LLC 부계층에서는 MAC 부계층 쪽으로 전송요구 후에 MA\_UNITDATA.confirm이 지정한 시간 내에 발생하지 않거나 실패의 결과가 발생될 경우 이를 결합 발생의 증거로 삼아 결함을 감지한다.

LLC 부계층에서도 각 부분에서 스스로의 동작을 감시하고, 별도로 LLC 부계층의 감시를 위하여 동작감시타이머(watch dog timer)를 사용한다. LLC 부계층에서는 주기적으로 동작감시타이머에 신호를 줌으로써 자신이 정상적으로 동작하고 있음을 알린다. 동작감시타이머에서는 일정한 시간 내에 LLC 부계층으로부터 신호를 받지 못하면 LLC 부계층에 이상을 있음을 감지한다. 이 경우 LLC 부계층에서는 각 동작의 단계마다 신호를 주도록 하되, 결합 발생시에도 반복 수행될 가능성이 있는 부분에서는 동작감시타이머에 신호를 주지 않도록 하는 구현시의 세심한 주의를 요한다.

LLC 부계층의 사용자 접속부를 통한 LLC 부계층의 결합 감시도 MAC 부계층의 경우와 비슷한 방법으로 이루어진다. Mini-MAP을 구성하는 LLC 부계층의 표준인 IEEE 802.2 [3]에 의해 LLC 부계층에는 세 가지 유형의 서비스가 지정되어 있다. 유형 1은 무응답 무연결(unacknowledged connectionless) 통신 서비스를 제공하고, 유형 2는 연결에 기초한(connection oriented) 통신 서비스를 제공하고, 유형 3에서는 응답있는 무연결(acknowledged connectionless) 통신 서비스를 제공한다. Mini-MAP에서는 유형 1과 유형 3을 사용하게 되어 있다. 본 연구에서는 결합 감지 기능을 강화하기 위하여 유형 3만을 사용하도록 한다.

유형 3에서 제공되는 서비스로는 L\_DATA\_ACK 서비스, L\_REPLY 서비스, L\_REPLY\_UPDATE 서비스가 있다. 본 연구에서는 L\_DATA\_ACK 서비스만을 고려한다. L\_DATA\_ACK 서비스는 L\_DATA\_ACK.request, L\_DATA\_ACK.indication, L\_DATA\_ACK.status\_indication의 세 가지 프리미티브(primitive)들로 이루어진다. LLC 부계층의 사용자는

데이터 송신 요구가 발생하면 L\_DATA\_ACK.request를 사용하여 LLC 부계층에 데이터의 송신을 요구한다. 송신의 성공 또는 실패는 L\_DATA\_ACK.status\_indication으로 알려진다. 수신측의 LLC는 원격의 LLC로부터 올바른 데이터를 수신할 경우 응답(acknowledge)을 송신측의 LLC로 보내어 송신측의 LLC에서 성공의 L\_DATA\_ACK.status\_indication가 발생할 수 있도록 한다. LLC 부계층으로부터 수신된 데이터는 L\_DATA\_ACK.indication을 통하여 LLC 부계층의 사용자에게 전달된다. 그림 2는 이와 같은 LLC 유형 3의 동작을 나타내고 있다.

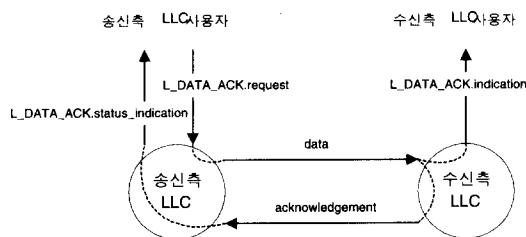


그림 2. LLC 유형 3의 동작.

Fig. 2. Operation of the LLC type 3 service.

LLC 부계층의 사용자는 데이터 전송 후에 L\_DATA\_ACK.status\_indication이 지정된 시간 내에 발생하지 않거나 실패의 내용을 담고 있는 것이 발생하는 것을 감시하여 LLC 부계층이하의 결함을 감지해낸다. L\_DATA\_ACK.status\_indication에는 송신측의 서비스결과와 수신측의 서비스 결과에 대한 정보를 담고 있다. 표 2는 송신측의 서비스 결과에 대한 상태를, 표 3은 수신측의 서비스 결과에 대한 상태를 나열하고 있다[3].

표 2. 송신측의 서비스 결과에 대한 상태.

Table 2. Status code of the service result from the requesting LLC.

약어	구분	설명
OK	성공	송신이 수행됨.
RS	영구적 문제	구현되지 않았거나 현재 기동되지 않은 서비스.
UE	영구적 문제	LLC 사용자 접속상의 이상.
PE	영구적 문제	프로토콜상의 이상동작.
IP	영구적 문제	구현에 관계된 영구적 이상동작.
UN	일시적 문제	자원의 일시적 부족.
IT	일시적 문제	구현에 관계된 일시적 이상동작.

송신측에 대한 결과 중 UN이나 IT는 일반적인 경우에는 결함에 의한 것이 아니라도 일시적인 원인에 의한 것으로 정상 동작중에 나타나는 것으로 분류될 수 있으나, 본 연구에서는 잘 조정되어 사용되는 통신망을 대상으로 하고 있으므로 UN과 IT도 결함에 의한 것으로 분류하고 OK가 아닌 것은 모두 결함의 증거로 분류한다. 데이터의 송신은 항상 응답을 요구하는 경우를 고려하므로 수신측의 결과 중 NR은 고려되지 않으며 송신측의 결과처럼 역시 OK가 아닌 것은 모두 결함의 증거로 분류된다.

Mini-MAP의 사용자는 또한 MMS 서비스를 사용할 때, 확인응답(confirmation)을 감시하여 실패의 내용을 담고 있는 경우 이를 통해 결함을 감지할 수 있다. 또한, 별도로 주기적인 점검 통신을 행하여 통신망이 정상동작을 하고 있는지 확인함으로써 결함 감지를 강화할 수 있다.

표 3. 수신측의 서비스 결과에 대한 상태.

Table 3. Status code of the service result from the responding LLC.

약어	구분	설명
OK	성공	송신이 수행됨.
RS	영구적 문제	구현되지 않았거나 현재 기동되지 않은 서비스.
NE	영구적 문제	송신에 대한 응답이 없음.
NR	성공	송신에 대한 응답이 요구되지 않았음.
UE	영구적 문제	LLC 사용자 접속상의 이상.
IP	영구적 문제	구현에 관계된 영구적 이상동작.
UN	일시적 문제	자원의 일시적 부족.
IT	일시적 문제	구현에 관계된 일시적 이상동작.

이와 같은 기법을 사용하여 통신망의 결함을 감시할 때, 통신망에 영구적인 결함이 발생하면 이상동작에 대한 보고가 계속적으로 발생할 수가 있다. 이것은 불필요한 처리가 반복적으로 일어나게 하여 정상적인 통신기능을 저해할 수 있으므로, 같은 결함의 결과라고 생각되는 사건에 대해서는 재보고를 하지 않도록 설계하는 것이 필요하다. 따라서, 각 사건에 대한 발생을 기록하는 장치를 두어 같은 사건이 연속적으로 발생하는 것을 금지시킨다. 또한, 결함이 보고되면 통신망 관리자는 통신망을 점검, 수리한 후 통신망 감시 장치를 재초기화하여 다시 감시를 계속하도록 한다. 통신망 관리자는 일시적인 결함이 짧은 기간에 여러 번 발생하는 경우도 감시하여 통신망의 결함을 감지해 내도록 한다.

앞에서 설명한 결함 감시를 통하여 발생된 사건을 사용하여 결함 발생 장소의 검출(fault location)을 할 수 있다. 각 계층별 및 발생된 스테이션을 기준으로, 자신의 물리 계층의 결함, 전체적인 물리 계층의 결함, 자신의 MAC 부계층의 결함, 다른 MAC 부계층의 결함, 자신의 LLC 부계층의 결함, 다른 LLC 부계층의 결함으로 구분한다. 전체적인 물리 계층의 결함은 자신이외의 스테이션에 국한된 물리 계층의 결함이나 전체 통신망에 관련된 물리 계층의 결함을 의미한다. 다음에 구분된 각 장소에서의 결함 발생의 증거가 되는 사건들을 구분하여 나열한다.

자신의 물리 계층의 결함 : no\_successor\_1 또는 No Successor 1, duplicate\_address\_1 또는 Duplicate MAC Address Detected (매우 낮은 발생 가능성을 갖음), no\_token 또는 Bus Idle Timer Expired, token\_pass\_failed 또는 Token Pass Failed, who\_follows\_query 또는 Who Follows, solicit\_any 또는 Solicit Any Arc of the ACM Performed, sole\_station, no\_successor\_8 또는 No Successor 또는 No Successor 8, Faulty Transmitter (no\_successor\_8과 같은 조건이 7회 이상 발생할 경우. 즉, 지속적인 이상), no\_future, unexpected\_frame\_10 (매우 낮은 발생 가능성을 갖음), FCS Errors 또는 E-Bit Errors 또는 Frame Fragments (자주 발생할 수록 결함의 정도와 지속성이 큼), Modem Error, MA\_UNITDATA.confirm이 지정한 시간 내에 발생하지 않거나 실패의 결과가 발생될 경우, L\_DATA\_ACK.status\_indication의 결과가 OK가 아닐 경우, MMS 서비스의 확인 응답 실패.

전체적인 물리 계층의 결함 : no\_successor\_1 또는 No Successor 1, repair\_demand\_in, duplicate\_address\_1 또는 Duplicate MAC Address Detected (매우 낮은 발생 가능성을 갖음), no\_token 또는 Bus Idle Timer Expired, token\_pass\_failed 또는 Token Pass Failed, who\_follows\_query 또는 Who Follows, solicit\_any 또는 Solicit Any

Arc of the ACM Performed, sole\_station, no\_successor\_8 또는 No Successor 또는 No Successor 8, Faulty Transmitter (no\_successor\_8과 같은 조건이 7회 이상 발생할 경우. 즉, 지속적인 이상), no\_future, unexpected\_frame\_10(매우 낮은 발생 가능성을 갖음), FCS Errors 또는 E-Bit Errors 또는 Frame Fragments (자주 발생할 수록 결합의 정도와 지속성이 큼), MA\_UNITDATA.confirm이 지정한 시간 내에 발생하지 않거나 실패의 결과가 발생될 경우, L\_DATA\_ACK.status.indication의 결과가 OK가 아닐 경우, MMS 서비스의 확인 응답 실패.

자신의 MAC 부계층의 결함 : no\_successor\_1 또는 No Successor 1, repair\_demand\_in, duplicate\_address\_1 또는 Duplicate MAC Address Detected, no\_token 또는 Bus Idle Timer Expired, token\_pass\_failed 또는 Token Pass Failed, who\_follows\_query 또는 Who Follows, solicit\_any 또는 Solicit Any Arc of the ACM Performed, sole\_station, no\_successor\_8 또는 No Successor 또는 No Successor 8, Faulty Transmitter (no\_successor\_8과 같은 조건이 7회 이상 발생할 경우. 즉, 지속적인 이상), no\_future, unexpected\_frame\_10, Bus/Address Error, MA\_UNITDATA.confirm이 지정한 시간 내에 발생하지 않거나 실패의 결과가 발생될 경우, L\_DATA\_ACK.status.indication의 결과가 OK가 아닐 경우, MMS 서비스의 확인 응답 실패.

다른 MAC 부계층의 결함 : no\_successor\_1 또는 No Successor 1 (다른 스테이션들의 모든 MAC 부계층에 결함 발생), repair\_demand\_in (논리적 링 상의 이전 스테이션의 MAC 부계층에 결함이 발생한 경우), duplicate\_address\_1 또는 Duplicate MAC Address Detected, no\_token 또는 Bus Idle Timer Expired, token\_pass\_failed 또는 Token Pass Failed (논리적 링 상의 다음 스테이션에 결함이 발생한 경우), who\_follows\_query 또는 Who Follows (논리적 링 상의 다음 스테이션에 결함이 발생한 경우), solicit\_any 또는 Solicit Any Arc of the ACM Performed (논리적 링 상의 다음 스테이션과 그 다음 스테이션에 동시에 결함이 발생한 경우), sole\_station (논리적 링 상의 모든 스테이션에 동시에 결함이 발생한 경우), no\_successor\_8 또는 No Successor 또는 No Successor 8 (논리적 링 상의 모든 스테이션에 동시에 결함이 발생한 경우), Faulty Transmitter (no\_successor\_8과 같은 조건이 7회 이상 발생할 경우. 즉, 지속적인 이상), no\_future (논리적 링 상의 모든 스테이션에 동시에 결함이 발생한 상태가 지속되는 경우), unexpected\_frame\_10, L\_DATA\_ACK.status.indication의 결과가 OK가 아닐 경우, MMS 서비스의 확인 응답 실패.

자신의 LLC 부계층의 결함 : 동작감시타이머(watch dog timer)의 이상 보고, L\_DATA\_ACK.status.indication이 지정한 시간 내에 발생하지 않거나 송신측에 관한 서비스 결과가 OK가 아닐 경우, MMS 서비스의 확인 응답 실패

다른 LLC 부계층의 결함 : L\_DATA\_ACK.status.indication의 수신측에 관한 서비스 결과가 OK가 아닐 경우 (상대편 스테이션의 LLC 계층에 결함이 발생한 경우), MMS 서비스의 확인 응답 실패.

앞에서 나열된 결함 발생 장소 검출의 증거들은 각 항목 부분에 결함이 발생했을 가능성이 있음을 뜻하며, 반드시 그 부분에 결함이 발생했음을 뜻하는 것은 아니다. 또한, 상위 계층과 하위 계층의 결합 발생 증거에 해당되는 것이 발생하였을 경우 일반적으로 먼저 하위 계층을 분석하여 결합 발생을 확인한 후 상위 계층의 결합 발생을 검사하는 것이 좋다. 결합 발생 장소의 검출을 위해서는 통신망에 연결된

모든 스테이션에서 보고된 내용들을 종합하여 판단하는 것이 필요하다. 예를 들어, 어느 한 스테이션의 모뎀부의 전송 장치(transmitter)가 고장났을 경우를 생각해 보자. 그 스테이션에서는 다른 모든 스테이션들로의 정상적인 송신 동작이 이루어지지 않으므로 자신의 물리 계층의 결함, 또는 다른 모든 스테이션들의 결합으로 추정할 것이다. 이때, 다른 스테이션들은 그 결함이 발생한 스테이션과의 통신만 이루어지지 않으므로 그 스테이션의 결함으로 추정할 것이다. 따라서, 통신망 관리자는 그 스테이션의 물리 계층에 결함이 발생하였음을 추정할 수 있다. 이와 같은 결합 발생 장소 검출 기법을 사용하여 결합 복구나 결합 수리에 도움을 줄 수 있다. 그러나, 보고된 결합의 증거들을 사용하여 예상되는 결합 발생 장소를 추정할 뿐이고, 정확하게 결합이 발생한 부분을 알아내기 위해서는 통신망 관리자가 앞에서 제시된 결합 발생 장소 검출 방법에 의해 예상되는 결합 발생 장소들을 점검하여 알아내야 한다.

### III. 결합 복구 기법

본 장에서는 통신망에 결함이 감지되었을 때, 통신망의 결함을 복구하는 기법을 제안한다. 본 논문에서는 대기 교체 방법을 사용한 결합 복구 기법을 연구한다. LLC 부계층이 하를 이중화하여 한 쪽의 통신망을 사용하다가 사용중인 통신망에 이상이 발생하면 대기중인 다른 통신망으로 전환시키는 방법을 사용한다. 이중화된 두개의 통신망은 대등하게 사용된다. 각 스테이션은 각각 독립적으로 결합을 감지하며, 결합의 복구 또한 독립적으로 수행한다. 자신의 결합 복구 기능에 의해 자신이 사용하는 통신망을 전환하며, 동시에 다른 스테이션들에게도 전환 명령을 내린다. 다른 스테이션으로부터 전환 명령을 받을 경우, 자신이 사용하는 통신망을 전환한다. 결합 허용 통신망의 유지 및 보수를 위하여 통신망 관리자가 필요하다. 통신망 관리자는 통신망에서 발생한 결합 수리의 책임을 맡는다.

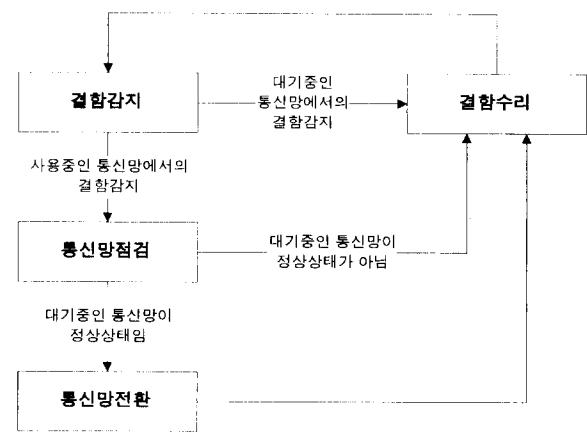


그림 3. 전체적인 결합 감지, 결합 복구, 결합 수리 과정.

Fig. 3. Overall fault detection, fault recovery and fault repair procedure.

전체적인 결합 감지, 결합 복구, 결합 수리 과정을 살펴보면 그림 3과 같다.

정상동작중에 대기중인 통신망에서의 결함이 감지되면, 통신망의 전환과정 없이 대기중인 통신망의 결함을 수리하도록 한다. 사용중인 통신망에 결함이 감지되어 대기중인 통신망으로 전환할 때, 대기중인 통신망도 이미 결함이 발생하여 전환에 의한 결합의 복구가 불가능할 수 있으므로 통신망의 전환 전에 대기중인 통신망의 상태를 먼저 점검한

다. 또한, 짧은 기간동안 결합이 계속적으로 감지되어 통신망 점검 및 전환이 불필요하게 반복될 수 있으므로, 결합 복구에 대한 한계치를 두어서 일정기간 내에 결합 복구의 횟수가 이 한계치를 넘지 않을 경우에만 결합 복구를 시행 한다. 결합 복구 횟수는 통신망 관리기에 의해 결합이 수리된 후 다시 초기화된다.

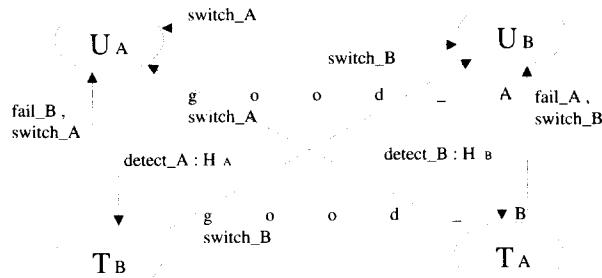


그림 4. 통신망 전환 알고리즘. ( $E:C$ 는  $C$ 조건을 만족하고  $E$ 사건이 일어나는 경우,  $E_1[E_2]$ 는  $E_1$ 사건이 발생하고, 그 결과로  $E_2$ 사건을 발생시키는 경우).

Fig. 4. Network switch algorithm ( $E:C$  denotes the case that an event  $E$  occurs and a condition  $C$  is satisfied.  $E_1[E_2]$  denotes the case that an event  $E_1$  occurs and this generates the event  $E_2$ ).

그림 4는 전환 알고리즘의 상태도를 나타낸다. 두개의 이중화된 통신망을 각각 A, B라고 한다.  $U_A$ 는 A 통신망을 사용하는 상태를 나타내며  $U_B$ 는 B 통신망을 사용하는 경우를 나타낸다.  $T_A$ 는 대기중인 A 통신망을 점검하는 상태를 나타내며,  $T_B$ 는 대기중인 B 통신망을 점검하는 상태를 나타낸다.  $detect_x$ 는 x 통신망에서 결합이 감지되었을 때 발생하는 사건이고,  $switch_x$ 는 x 통신망으로 전환시키는 명령이 수신되었을 때 발생하는 사건이고,  $good_x$ 는 x 통신망의 점검 결과가 정상으로 보고되었을 때 발생하는 사건이고,  $fail_x$ 는 x 통신망의 점검 결과가 불량으로 보고되었을 때 발생하는 사건이다.  $good_x[switch_x]$ 는 x 통신망이 정상으로 확인되어 자신이 사용하는 통신망을 x로 전환하고 다른 스테이션들에도 x 통신망으로 전환시키는 명령을 내리는 것을 뜻한다. 이때, x 통신망으로 전환시키는 명령은 x 통신망을 통해 전파된다.  $H_x$ 는 x 통신망의 결합 복구 횟수가 한계치를 넘지 않을 경우에만 상태의 천이가 발생함을 나타낸다. 같은 결합을 여러 스테이션에서 동시에 감지 할 수 있으며, 이 경우 각각의 스테이션들은 그림 4의 동작을 수행한다. 각 스테이션은  $U_A$  또는  $U_B$ 에서 다른 스테이션으로부터 통신망 전환 명령을 받으면, 사용하는 통신망을 전환한다. 결합 감지 후에 대기중인 통신망을 점검중에도 다른 스테이션으로부터 전환 명령을 받으면 사용하는 통신망을 전환한다. 상태도의 각 상태에서 정의되어 있지 않은 사건에 대해서는 반응하지 않는다. 즉,  $U_A$ 상태에서  $switch_A$ 가 발생하거나  $T_B$ 에서  $detect_A$ 가 발생하면 무시된다. 각 사건들은 IEEE 802.4의 방송(broadcast)기능을 사용하여 통신망 전체에 전파시킴으로써 빠른 전송을 꾀한다. 본 논문에서 제안하는 전환 알고리즘은 [11]에서 제안된 통신망 전환 알고리즘과는 달리 두개의 이중화된 통신망이 대등하게 사용되어 불필요한 전환을 하지 않는다.

하나의 스테이션에서 통신망을 전환하는 동작은 전송에 사용되는 통신망을 전환된 통신망으로 설정하고 수신을 위해서는 이중화된 두개의 통신망으로부터 올라오는 모든 데이터를 수신하는 방식으로 구현한다. 통신망에 연결된 각각의 스테이션에서는 한 순간에 선택된 하나의 통신망을 통해서만 전송하기 때문에 양쪽 통신망으로부터의 데이터를 모두 수신하여도 통신상의 일관성이 유지될 수 있다. 결합 감지후 통신망에서 전환동작이 일어날 때 모든 스테이션이 정확히 같은 시점에서 통신망을 전환하지 않을 수 있지만, 제안된 전환 방식을 통하여 통신 동작의 일관성을 유지할 수 있으며 전환과정에서의 일시적인 불안정한 상태를 막을 수 있다. 또한, 각각의 스테이션이 독립적으로 통신망의 상태를 판단하고 통신망을 전환하는 과정에서 스테이션들이 각기 다른 통신망을 선택한 경우에도 통신 동작의 일관성이 보장된다.

결합이 감지되면, 통신 서비스의 계속적인 제공을 위해 사용하는 통신망을 전환하는 작업이외에도 결합을 수리하는 작업이 필요하다. 결합의 수리를 위하여 결합에 관련하여 보고된 정보와 별도의 통신망 상태 분석 작업을 통하여 결합 발생 원인과 위치를 알아낸다. 그림 5는 결합 감지후의 결합 수리 및 수리후의 작업을 나타내는 상태도이다.

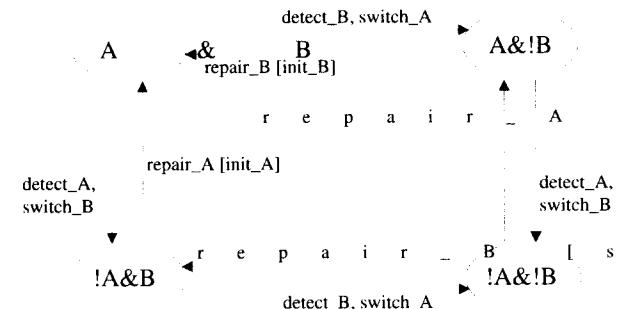


그림 5. 결합 수리 알고리즘. ( $E_1[E_2,E_3]$  :  $E_1$ 사건이 발생하고, 그 결과로  $E_2$ ,  $E_3$ 사건을 발생).

Fig. 5. Fault repair algorithm ( $E_1[E_2,E_3]$  : An event  $E_1$  occurs and this generates the events  $E_2$  and  $E_3$ ).

$A\&B$  상태는 A 통신망과 B 통신망이 정상인 경우,  $!A\&B$  상태는 A 통신망의 결합이 감지되고 B 통신망은 정상인 경우,  $A\&!B$  상태는 A 통신망은 정상이고 B 통신망은 결합이 감지된 경우,  $!A\&!B$  상태는 A 통신망과 B 통신망에서 결합이 감지된 경우를 나타낸다.  $init_x$ 는 x 통신망의 결합 복구 횟수를 초기화시키는 사건을 나타내고,  $repair_x$ 는 x 통신망의 결합 수리가 완료될 때 발생하는 사건이다. 다른 사건들은 그림 4의 상태도와 같은 의미를 갖는다. 각 스테이션은  $A\&B$  상태에서 A 통신망의 결합이 감지되어  $detect_A$ 가 발생하거나 다른 스테이션에서 감지된 결합의 결과로  $switch_B$ 가 발생하면,  $!A\&B$  상태로 천이하여 A 통신망의 결합을 수리한다. 수리가 완료되면  $repair_A$ 가 발생하고, 이때  $init_A$ 를 발생시켜서 통신망의 결합 복구를 초기화한다.  $!A\&!B$ 에서 다시 B 통신망의 결합이 발생하는 경우  $!A\&!B$ 로 천이하고 통신망 관리자는 A 통신망과 B 통신망의 결합을 수리한다. A 통신망의 결합이 먼저 수리되면  $repair_A$ 가 발생하고, 이때  $switch_A$ 와  $init_A$  사건을 발생시켜서, 정상 통신망으로 전환시키고 결합 복구 횟수를 초기화한다. 다른 경우들도 마찬가지로 동작한다. 결합 수리에 관련된 사건들도 IEEE 802.4의 방송기능을 사용하여 통신망 전체에 전파시킨다.

결합을 복구한 후에는 결합의 원인을 제거하는 작업이 필요한데, 이를 위하여 보고된 결합 관련 정보를 종합하고 새롭게 통신망을 분석하여 상태를 점검함으로써 결합이 발생한 부분을 찾아내는 작업이 필요하다.

통신망 관리자는 정기적으로 통신망을 점검하여 발생 가능한 결합을 사전에 방지하고 발생한 결합을 즉시 수리하는 작업을 담당하여야 한다. 통신망 관리자는 결합 발생 위치와 원인을 분석하여 통신망의 신뢰성 개선에 반영시키는 것이 바람직하다.

#### IV. 제안된 결합 감지 및 복구 기법의 적용

본 장에서는 II장과 III장에서 제안한 결합 감지 및 결합 복구 기법을 적용한 결합 허용 Mini-MAP 시스템의 구현 예를 보인다.

구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템은 그림 6과 같은 형태의 전체적인 구성을 갖는다. 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 하나의 CPU보드에 두개의 통신망 접속장치(NIU; Network Interface Unit)가 결합된다. Mini-MAP의 물리계층, MAC부계층, LLC부계층이 통신망 접속장치에 위치하고, MMS와 통신망 관리 프로그램은 CPU보드상에 다른 용용프로그램과 함께 위치하게 된다. 기존의 Mini-MAP 시스템에 오동작 감시기(ESM; Error Supervisory Machine), 오동작 관리기(EMM; Error Management Machine), 통신망 관리기(NMM; Network Management Machine)가 추가되어 결합 감지, 결합 복구, 통신망 유지 및 보수 기능을 갖추게 된다. 통신망의 LLC 부계층은 DEP(Data Exchange Protocol)을 사용하여 MMS와 접속된다. LLC 부계층이 하위에 위치하는 오동작 감시기와 상위계층과의 접속은 EHP(Error Handling Protocol)을 사용하여 이루어진다. DEP와 EHP를 합하여 데이터 교환 장치라고 부른다. 이중화된 두개의 통신망 접속장치를 전환하며 사용하기 위한 접속장치로서 양방향 데이터 교환장치(TWDEP; Two-Way Data Exchange Protocol)가 사용된다.

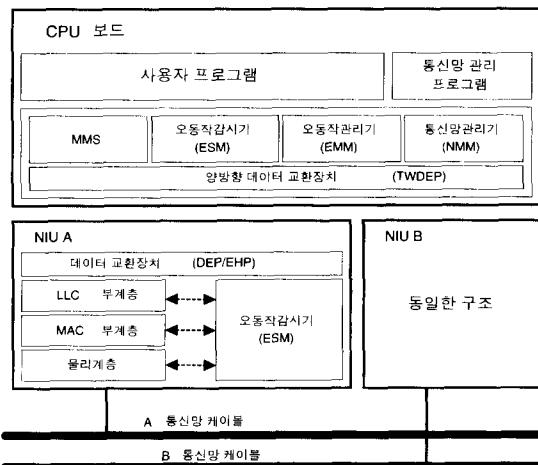


그림 6. 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템의 구조.

Fig. 6. Structure of the implemented fault-tolerant Mini-MAP system.

오동작감시기는 MAC 부계층과 LLC 부계층 및 응용계층에 걸쳐서 존재하여 II장에서 제안된 결합 감지 기능을 수행하며, 이상상태를 감지하여 오동작관리기에 알려주는 결합 감지 기능을 갖는다. 오동작 감시기는 데이터 교환장치를 통하여 오동작 관리기로부터 초기화, 특정 조건의 결

합 감시 일시 중지 등의 명령을 받아 수행할 수 있다. 오동작관리기는 결합 복구 기능의 주요 역할을 담당한다. 오동작감시기로부터 결합의 감지가 보고되면 III장에서 논술한 바와 같이 통신망을 점검하고 사용하는 통신망을 전환하는 작업을 담당한다. 통신망에 이상이 없다고 판단되는 경우나 통신망 관리자로부터 결합 수리의 완료가 보고되는 경우 오동작 감시기의 결합 감시기능을 초기화시킨다. 통신망관리기는 이상 상태가 발생될 경우 통신망을 분석하여 결합 발생 장소 검출 기능과 전체적인 통신망의 관리 기능을 갖고 있어서 이상 상태 발생후의 유지, 보수작업에 사용된다. 통신망의 각 스테이션들의 통신망 관리기들은 서로 통신망 관리에 관련된 명령을 주고 받으며 동작하며, 이를 위하여 자체의 통신 프로토콜을 갖는다. 통신망 관리자는 통신망 관리기를 이용하여 통신망을 계속적 또는 정기적으로 관리하여야 한다.

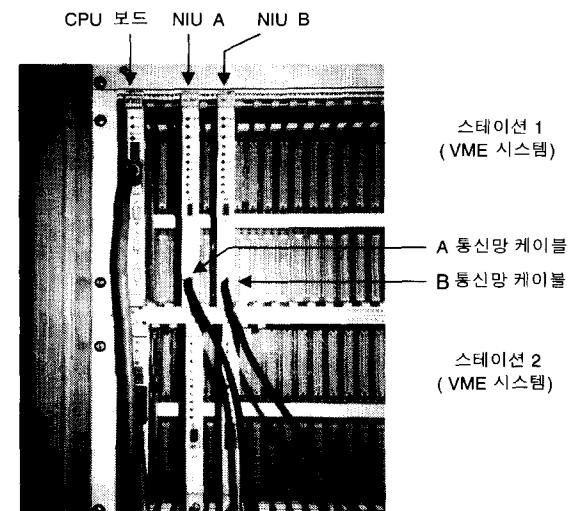


그림 7. 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템.

Fig. 7. The implemented fault-tolerant Mini-MAP system.

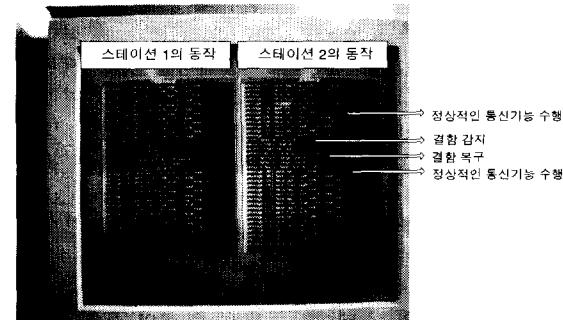


그림 8. 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템의 동작.

Fig. 8. Operation of the implemented fault-tolerant Mini-MAP system.

그림 7은 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템이 실제로 설치된 모습을 보여준다. 개발된 시스템은 VME 시스템으로 구현되었다. CPU 보드로는 FORCE CPU-30 보드 [16]가 사용되었다. FORCE CPU-30 보드에 실시간 OS인 VxWorks [17]를 설치하여 MMS, 통신망 관리 프로그램 및 다른 용용 프로그램이 수행되도록 하였다. 구현된 Mini-MAP 시스템을 시험동작시키기 위하여 두개의 스테이션으로 구성된 Mini-MAP 통신망 시스템을 구성하였다. 스테이

션 1과 스테이션 2의 모습이 그림 7에 나타나 있다. 결합 허용성을 갖춘 통신 기능을 시험하기 위하여 스테이션 1과 스테이션 2에서 각각 상대측으로 1초 간격의 메세지 전송을 하도록 한 후, 인위적인 케이블의 결함을 발생시킨 결과가 그림 8에 나와 있다. 그림에 나타나 있는 바와 같이 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템은 결함을 즉시 감지한 후 통신망을 전환함으로써 결함을 복구하여 정상적인 통신 기능을 계속적으로 수행하였다. 이 이외에도 여러가지 종류의 결합 발생 환경을 만들어 결합 허용 성능을 시험하였으며 구현된 결합 허용 Mini-MAP 시스템은 성공적으로 동작하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 고신뢰성의 결합 허용 Mini-MAP 시스템을 구현하기 위한 결합 감지 및 복구 기법을 제안하고, 구현을 위한 효과적인 기법을 연구하였다. Mini-MAP의 물리 계층, MAC 부계층, LLC 부계층의 결함을 감지 및 복구 대상으로 하였다. 계층적 중복 감시구조를 통한, 신속하고 확실한 결합 감지 기법을 제안하였으며, 안정된 동작을 고려한 구현 기법을 연구하였다. 하위계층내에서의 통신망 감시를 통하여 신속한 결합 감지 기능을 수행하고, 상위계층에서의 중복된 감시 및 여러 스테이션들에서의 다중적 통신망 감시를 통해 확실한 결합 감지 동작이 이루어지도록 하였다. 같은 결합에 대한 반복적인 보고가 발생되어 이에 대한 중복된 처리가 일어나는 것을 피하도록 하고 불필요한 통신망 전환등의 결합 복구 동작이 일어나는 것을 방지함으로써, 결합 발생시의 처리과정에서 시스템이 불안정해지는 것에 대처하였다. 제안된 감시 방법을 통해 보고되는 결합 관련 정보와 추가적인 통신망 분석 정보를 사용하여 결합 발생 장소 검출이 가능하도록 하였다. 이러한 정보를 사용해 결합 발생 장소를 검출해 냄으로써, 결합의 복구 및 결합의 수리에 효과적으로 사용될 수 있다. 물리 계층 및 MAC 부계층의 결합감지는 MAC 부계층의 매체 관리기능을 활용함으로써, 별도의 하드웨어 개발의 부담을 덜도록 하였다. 결합 복구를 위하여 물리 계층, MAC 부계층, LLC 부계층이 이중화되어 결합 감지시에 대기중인 통신망으로 전환하는 대기 교체 방법을 사용하였다. 사용하는 통신망의 전환은 양쪽으로부터 수신하고 선택된 한쪽으로만 송신하는 방식을 취하여, 기존의 통신망 접속장치 위에 소프트웨어적인 양방향 접속장치를 사용함으로써 간단히 구현할 수 있게 하고 전환시 통신 시스템의 안정성을 꾀하였다. 결합 감지 및 결합 수리시의 통신망의 전환 동작에서도 계속적으로 안정된 동작을 얻기 위한 통신망 전환 기법을 제안하였다.

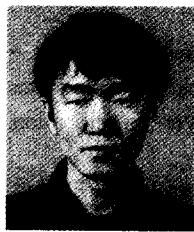
본 논문에서 제안된 결합 감지 및 복구 기법을 적용하여 결합 허용 Mini-MAP 시스템이 구현되었으며, 한쪽 통신망의 결합 발생시에도 결합 감지 및 복구 과정을 통하여 정상적인 통신기능이 보장됨이 실험을 통하여 검증되었다. 결합 발생시 데이터 손실의 보다 효과적인 복구 방법, 결합 복구를 보다 고속화하는 방법에 대한 연구 등이 앞으로의 과제이다.

알립 : 연구에 많은 도움을 주신 강원대학교 제어계측공학과 박홍성교수님과 조언을 아끼지 않은 서울대학교 전기공학부 대학원 김영신에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] A. Valenzano, C. Demartini and L. Ciminiera, *MAP and TOP Communications: Standards and Applications*, Addison-Wesley, 1992.

- [2] ISO/IEC 8802-4, *Information processing systems - Local Area Networks - Part 4: Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specification*, IEEE, Inc., 1990.
- [3] ISO/IEC 8802-2 *Logical Link Control*, IEEE, Inc., 1994.
- [4] U. Minoni, G. Sansoni, and N. Scarabottolo, "A fault tolerant microcomputer ring for data acquisition in industrial environments", *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 38, no. 1, pp. 32-36, Feb., 1989.
- [5] M. R. Basila Jr., G. Stefanek and A. Cinar, "A model-object based supervisory expert system for fault tolerant chemical reactor control", *Computers and Chemical Engineering*, vol. 14, Iss. 4-5, pp. 551-560, 1990.
- [6] B. W. Johnson, *Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems*, Addison-Wesley, 1989.
- [7] D. A. Rennels, "Fault-tolerant computing - concepts and examples", *IEEE trans. on Computers*, vol. C-33, no. 12, pp. 1116-1129, Dec., 1984.
- [8] J.-M. Ayache, J.-P. Courtiat and M. Diaz, "REBUS, A Fault-Tolerant Distributed System for Industrial Real-Time Control", *IEEE Trans. on Computers*, vol. C-31, no. 7, pp. 637-647, July, 1982.
- [9] Y. Shiobara, T. Matsudaira, Y. Sashida and M. Chikuma, "Advanced MAP for real-time process control", *Proc. of IECON*, pp. 883-891, Cambridge, Massachusetts, 5-6, Nov., 1987.
- [10] H. Kleines and K. Zwoll, "MAP Mining - A communications system for mining applications", *EMUG MAP/TOP EVENTS Conference Proceedings*, SYSTEC 92, 1992.
- [11] 문홍주, 박홍성, 권욱현, "결합 허용 Mini-MAP 시스템의 구현 및 성능해석", 전자공학회지, 제32권 B편, 제3호, pp. 1-10, 1995. 3.
- [12] 발전소 보일러의 디지털 분산 제어 시스템 개발 및 적용 (the development and application of digital distributed control system for boiler in the power plant) 기술보고서, 삼성 데이터 시스템 주식회사, 1991.
- [13] 문봉채, "발전소용 분산제어 시스템의 개발", 전기학회지, 제41권, 제9호, pp. 23-37, 1992.
- [14] 문홍주, "외란이 있는 환경에서의 IEEE 802.4 토큰 전달 방식의 해석", 서울대학교 공학석사 학위논문, 1993.
- [15] MC68824 User's Manual, Motorola Inc., 1987.
- [16] SYS68K/CPU-30 User's Manual Revision, No. 3, Force Computers Inc./GmbH, 1991.
- [17] VxWorks Programmer's Guide, Wind River Systems, Inc., 1992.



문 흥 주

1968년 출생. 1991년, 1993년 서울대학교 제어계측공학과 학사 및 석사. 1998년 2월 서울대학교 전기공학부 공학박사. 현재 한전전력연구원 시스템통신 연구소 선임 연구원. 관심분야는 이산사건 시스템, 자동화 시스템, 산업용통신망 등.

권 육 현

제어·자동화·시스템공학회 논문지 제 3권 제 1호 참조.