

철도 신호시스템의 Fail-Safe 네트워크를 위한 DPST(Dual Packet Seamless Transfer) 프로토콜의 구현

An Implementation of the Dual Packet Seamless Transfer Protocol for Safety-related Railway Signaling System Network

김경식†
Kim, Kyung-Shik

류신형**
Ryu, Shin-Hyung

권철**
Kwon, Cheol

이종성*
Lee, Jong-Seong

ABSTRACT

An interlocking equipment of railway signalling systems should have very high functional safety and reliability properties because of its vital railway protection functionality. In order to achieve the required safety and reliability level, an engineer, in general, designs and implements the interlocking equipment to operate under RTOS(Realtime Operating System) environment, and the control hardware architecture redundant to cope with the random failures of system or subsystem. In such an architecture, it's very difficult to implement the interlocking equipment to communicate with various interface systems including the signal operator's terminal. In this paper, we propose a dual ethernet network topology and dual packet seamless transfer protocol algorithm for railway signaling system such as the interlocking equipment. We verify in this paper that the proposed DPST protocol algorithm has the evidence of its robust properties against the random hardware faults and communication errors. The proposed communication structure and algorithm is implemented in the electronic interlocking equipment for the private railway system of Hyundai Steel Company and its performance and properties are validated on the guideline of European Railway Standard EN50159.

국문요약

열차제어 지상신호시스템에서 핵심적인 철도보안기능을 수행하는 연동장치는 철도산업의 안전성 확보 지침에 따라 높은 안전성과 신뢰성을 갖추어야만 한다. 따라서 연동장치는 높은 안전성과 신뢰성을 달성할 수 있도록 실시간 운영체제 및 그 구성 하드웨어의 랜덤 고장에 대처하기 위한 Fail-Safe형 다중 제어시스템으로 구성된다. 이러한 구성에서는 운영자 인터페이스를 포함한 다양한 장치와의 메시지 교환을 위한 인터페이스 기능을 구현하기 어려운 특성이 존재한다. 본 논문에서는 연동장치와 상위 인터페이스 설비간의 통신기능을 구현하기 위한 Dual Ethernet 네트워크 구성 및 DPST(Dual Packet Seamless Transfer) 통신 프로토콜을 제안한다. 제안된 시스템의 구성에서는 특정 네트워크 장비의 랜덤 고장이나 통신오류에 강인한 특성을 보이며 통신채널의 장애를 검출할 수 있는 기능이 추가되어 설비의 유지보수에 효과적인 정보로 활용될 수 있음을 실험적으로 검증한다. 제안된 네트워크 구성 및 운영 프로토콜을 현대제철 전용철도용 전자연동장치에 구현하고 그 성능과 특성을 유럽표준규격 EN50159의 지침을 토대로 타당성을 분석한다.

† 책임저자 : 비회원, 현대로템(주), 신호팀, 선임연구원

E-mail : holykim@hyundai-rotem.co.kr

TEL : (031)596-9145 FAX : (031)596-9767

* 정희원, 현대로템(주), 신호팀, 책임연구원

** 정희원, (주)오시에스터, 자동화기술연구소, 연구원

1. 서론

철도응용 분야에서의 통신, 신호 및 프로세싱 시스템의 안전성 대책은 유럽을 중심으로 규격화되고 이를 기반으로 개발된 시스템으로 철도설비를 운용할 것을 권고하고 있다[1]. 특히, 통신에 대해서는 그 구성 통신망이 폐쇄적인 구조를 가질 경우 EN 50159-1에 따르면 무선통신망, 인터넷망과 같이 개방된 구조에 대해서는 EN 50159-2를 준수할 것을 권고한다[1][2].

현재 국내 철도신호설비에 적용되고 있는 통신장치로는 LDTS, CDTs 및 CTC/TTC 통신서버 등이 있으며 현장설비와 집중형열차제어 설비간 통신은 대부분 풀링형 비동기 시리얼 통신 방식에 기반을 두고 있다. 이러한 통신설비는 비록 그 신뢰성이 검증되었다 할지라도 설비의 변경이나 개조에 비용이 과다하게 소요될 뿐만 아니라 속도가 지나치게 느린 단점이 있다.

최근에 들어서는 열차제어를 위한 통신시스템은 물리적으로는 초고속 유무선 통신망에 데이터 전송을 위한 전송제어는 TCP/IP 프로토콜을 사용하는 경향이 증가하고 있다. 이는 열차제어를 위한 통신설비의 구축시 소요되는 비용의 감소에도 다양한 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있기 때문이다[2]. 이러한 추세는 통신기반 열차제어(CBTC: Communication-Based Train Control)를 가속화하는 경향이 있지만 전기전자 부품으로 구성된 열차제어 설비의 안전성과 신뢰성을 입증하는 안전관련 기능을 갖춘 시스템의 설계/제작이 필수적으로 요구된다[3-7].

본 논문에서는 철도신호설비의 근간이 되는 연동장치와 주변기기간의 통신을 위한 TCP/IP 프로토콜 기반의 이중화 네트워크의 구성 및 그 Fail-Safe 운용을 보장하는 DPST(Dual Packet Seamless Transfer) 프로토콜을 제안한다. 제안된 DPST 프로토콜은 현대제철 전용철도 전자연동장치를 위한 Dual Ethernet망에서 그 성능과 신뢰성을 검증한다. 논문의 구성은 다음 2장에서 제안 시스템의 개요 및 EN 50159-1 권고안과의 상호 관련성을 기술하고 3장에서는 DPST 프로토콜의 동작 매커니즘을 설명하며 4장에서는 현대제철 전용철도 전자연동장치에 적용한 후 실험한 내용을 고찰하며 마지막 4장에서는 결론을 도출한다.

2. DPST 프로토콜 개요

2.1 개요

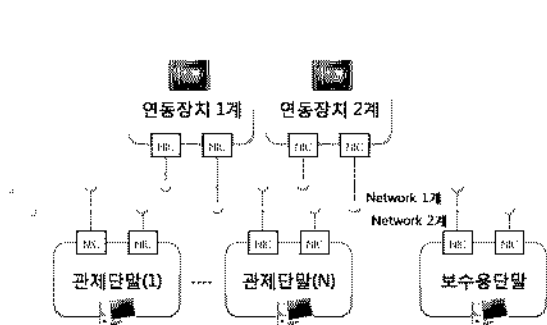


그림 1. Dual Ethernet 네트워크의 연결 구성도

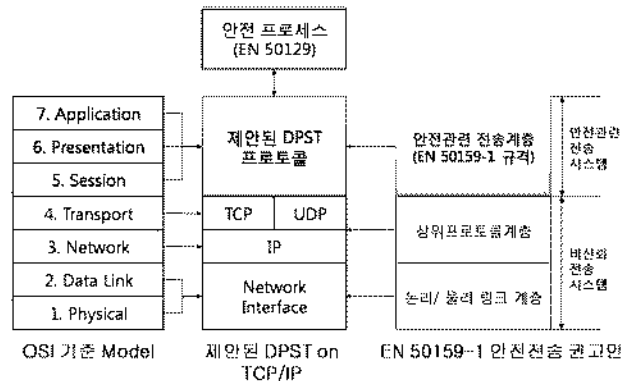


그림 2. DPST 프로토콜의 구조

그림 1은 본 논문의 통신 매커니즘을 구현하고 시험하기 위하여 구성된 Dual Ethernet 통신 네트워크의 연결 구성도를 나타낸다. 전자연동장치와 관제설비는 통신을 위해서 각각 독립된 2개의 Ethernet 네트워크 인터페이스 카드를 가지고 있으며 독립적인 네트워크 IP 주소가 할당된다. 이러한 Ethernet 기반하에서 데이터 전송을 위한 프로토콜은 TCP/IP가 주로 사용되며 ISO 표준 OSI 7계층의 관점에서 보았을 때 그림 2와 같이 1-4계층에 해당한다. 본 논문에서 제안하는 DPST 프로토콜은 7-9까지의 계층에 대응하며 Dual Ethernet을 통한 패킷의 동시전송/병합수신에 필요한 자체적인 오류검출, 흐름제어 및 재전송 제어를 위한

알고리즘을 규정하며 이를 통해 케이블의 단선, 스위치과 같은 통신 장비의 하드웨어적 랜덤(Random) 고장시에도 이로 인한 통신지연이 발생하지 않는 무순단 데이터 송수신을 달성할 수 있다.(이는 Single Ethernet의 단순한 병렬구성으로는 구현되지 않는다.) 또한 그림 2로부터 알 수 있듯이 DPST 프로토콜은 TCP/IP 프로토콜 스택과 분리되어 있기 때문에 Ethernet 네트워크 환경에만 국한되지 않고 다양한 무선 통신망, 비동기 시리얼 통신망 등에도 적용 가능하다. 따라서 그 종류와 성격이 다른 유선망, 무선망 및 기존의 시리얼 통신망을 병합한 결합허용 다중 네트워크를 구성하는 응용 시스템에서도 적용 가능하다.

2.2 데이터 흐름도

그림 3은 DPST 프로토콜의 계층별 주요기능을 나타내며 최상위 안전 프로세스 응용 단계에서 데이터를 생성하여 수신장치에 전송하고 안전 전송된 데이터를 해석하기까지의 데이터 처리 흐름을 보여준다. 송신장치에서 발생된 정보는 2단계의 처리를 거쳐서 수신장치에 전달된다. 1단계 송신측 표현계층에서는 안전한 전송을 원하는 정보에 헤더와 CRC를 붙여 패킷으로 만든다. 이 때 생성된 패킷 블록을 수신장치에서 정확하게 복원할 수 있도록 프레임화 한다. 프레임화 된 패킷은 단순한 바이트 스트림정보의 나열 형태로 정렬(Serialization)된다.

2단계 세션계층에서는 1단계에서 넘겨받은 정렬된 정보를 일정 크기로 분할하고 흐름제어 헤더와 CRC를 추가한 뒤 이를 다시 프레임화 하여 이중화된 통신채널로 동시에 병렬 전송한다. 수신장치는 동시에 전송된 데이터 가운데 우선 수신된 데이터를 기반으로 바이트 스트림을 복원한다. 바이트 스트림은 다시 패킷으로 해석되고 송신장치의 역순으로 복원되어 최종 수신장치의 안전 수신 전문으로 응용계층에서 처리된다. 본 프로토콜의 2단계 세션계층은 응용서비스에서 만들어진 정보의 내용과 종류에 관계없이 연속된 바이트 스트림을 원격지에 전송한다는 점에서 TCP의 기능과 유사하다. 이는 국방고등연구계획국(DARPA)에서 추진한 초창기 TCP 프로토콜의 개발 과정에서 군사적 필요성으로 인해 네트워크의 손상 또는 장애 시 대처할 수 있는 기능을 구현하기 용이하도록 설계되어 있기 때문이다[9].

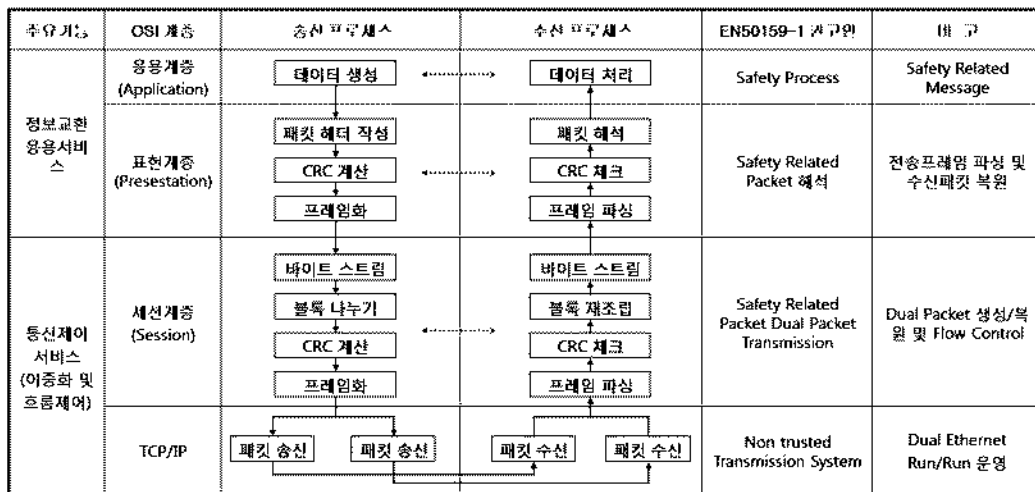


그림 3. DPST 프로토콜의 계층별 구조

3 프로토콜의 세부내용

3.1 정보교환 응용서비스

3.1.1 프레임화 및 에러검출

DPST의 1단계 처리부분에 해당하는 정보교환 응용 서비스는 OSI 7계층의 관점에서 응용계층과 표현계층에 해당하며 전송하고자 하는 데이터(상태정보 또는 이벤트정보)를 프레임화하는 기능을 수행한다. 그

하위에 구성되는 통신제어 서비스단에서는 응용 서비스계층의 정보를 구분하지 않고 바이트 스트림으로만 처리하기 때문에 응용서비스 부분의 패킷의 형식은 자유롭게 정할 수 있다. 본 DPST 프로토콜 구현에서는 패킷 블럭을 프레임하는 방법으로 SLIP 프로토콜을 사용하였고 오류검출을 위해 CRC16을 사용하였다. 본 구현에서 사용한 여러 종류의 패킷 중에 대표적으로 정보 패킷의 예를 그림 4에서 보인다.

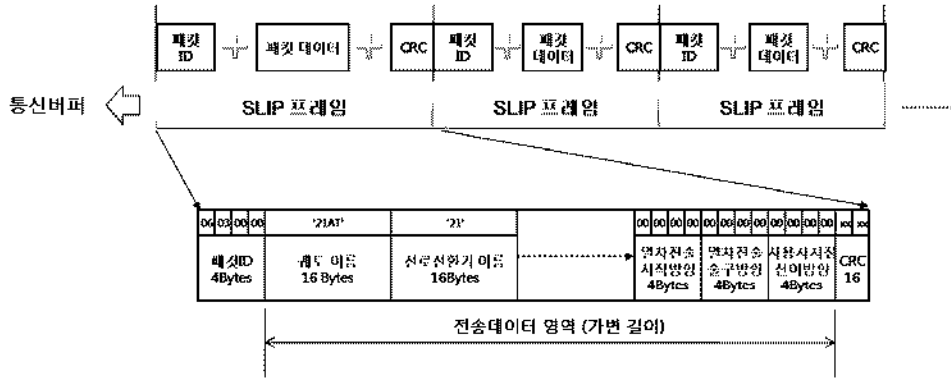


그림 4. DPST 정보교환 응용서비스의 프레임화 구조도

3.1.2 정보교환 응용 서비스의 흐름제어

DPST 정보교환 패킷은 상태의 변환 등에 기인한 이벤트 데이터와 단말장치의 요청에 대한 응답 데이터로 크게 구성된다. 응용 서비스의 흐름제어는 기본적으로 요청에 대한 응답 데이터를 처리하기 위하여 그림 5와 같이 전송후 대기(Send and wait)방식을 사용한다. 이 때 허용가능 최대 지연시간은 2초이다. 정보 요청 후 송신까지의 시간이 2초 경과할 경우에는 통신장애로 인식하게 된다. 또한 그림 6과 같이 요청에 대한 응답 패킷 사이에 이벤트가 발생할 경우, 해당 이벤트 데이터의 실시간성과 발생 순서를 명확히 보장하기 위하여 응답 패킷의 전송 전에 이벤트 데이터를 먼저 전송하도록 설계되어 있다. 따라서, 하나의 정보 전송 요청에 대한 응답이 수신 완료되지 않은 상황 하에서도 Deadlock 또는 다른 정보의 송수신에 영향을 미치는 현상을 야기하지 않기 때문에 또 다른 정보에 대한 전송 요청은 이전 정보의 수신 완료여부에 상관없이 항상 가능하게 된다.

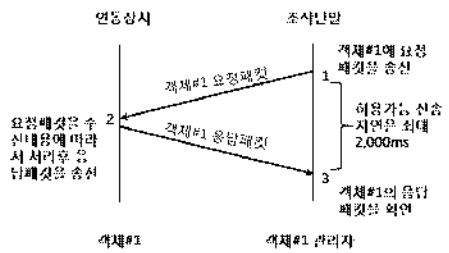


그림 5. 전송후 대기방식 개념도

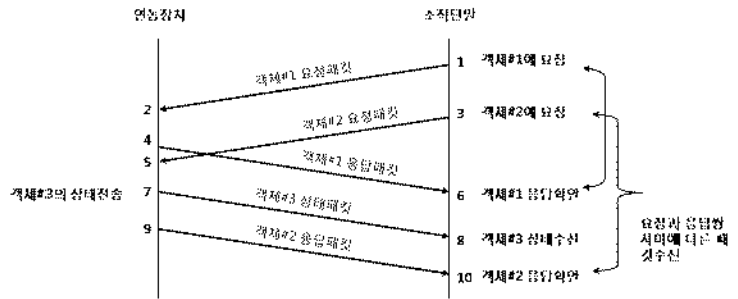


그림 6. DPST 응용 서비스 흐름제어 타이밍도

상기 흐름제어 알고리즘을 소프트웨어로 구현하기 위해서는 송수신의 대상이 되는 개별 철도신호 객체들(예를 들면, 진로, 궤도, 신호기 등)은 동등한 우선순위로 통신에 관여하게 되며 발생순서에 따른 전송 순서를 갖도록 구현되어야 한다. 이러한 기능을 객체지향형 소프트웨어로 구현한 경우 철도신호 설비의 대상이 되는 객체들 내부에 구현되는 통신 메쏘드(Method)는 모두 응용서비스 계층의 패킷을 송신하거나 수신할 수 있으며 객체 자신의 상태를 관제설비에 알려줄 필요가 있을 때마다 패킷을 응용서비스 계층에 전달한다. 또한 수신측 응용서비스 계층에서는 전달받은 패킷을 통해 송신측 철도신호 객체의 상태정보를 복원하고 관리하도록 소프트웨어를 구현한다. 이러한 송수신 매커니즘의 개념도는 그림 7과 같다.

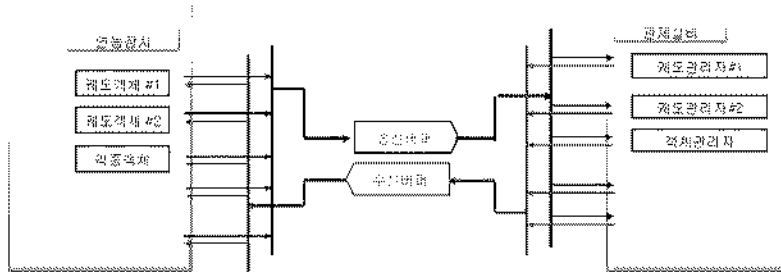


그림 7. DPST 정보교환 응용서비스 흐름제어의 소프트웨어 구성 개념도

3.2 통신제어 서비스계층

3.2.1 프레임화 및 에러검출

통신제어 서비스계층은 결합허용 구조를 갖는 Dual Ethernet 네트워크를 병행 운용하기 위해서 도입되었으며 이 계층에서도 흐름제어 및 오류검출을 위해 전송블럭을 패킷화해서 Dual Ethernet 망을 통하여 동시에 보낸다. 이는 개별 네트워크 하드웨어의 랜덤 고장에 대처하기 위한 목적으로 동시전송/병합 수신 알고리즘을 구현하여 무순단(Seamless) 기능을 달성하는 것을 그 목적으로 한다.

3.2.2 패킷의 포맷

통신제어 서비스계층에서 사용하는 패킷은 3가지 종류인데 구체적 내용은 그림 8과 같다.

패킷	패킷의 기능	패킷의 형식
Reset Session	세션의 초기화	
Send Block	블럭데이터 송신	
Recv Block	세션 초기화 응답 및 블럭데이터 수신응답	

그림 8. DPST 정보교환 응용서비스 흐름제어의 소프트웨어 구성 개념도

여기서, 그림 8의 패킷 형식에 사용한 데이터 필드의 내용과 의미는 다음과 같다.

패킷데이터 필드의 나모닉	값의 범위	값의 의미
Machine	0과 (~0: 0xffffffff)이외의 32비트값	통신에 참여한 장치의 식별ID
Session	0과 (~0: 0xffffffff)이외의 32비트값	현재 활성화되어 사용되는 세션번호 0과 (~0)값은 비활성화 세션을 의미함
Sequence	32비트값	전송되는 바이트 스트림의 일련번호
SizeOfBlock	32비트값	전송되는 데이터 블럭의 바이트개수
WindowSize	32비트값	수신버퍼의 남은 크기
RxLive	32비트값	수신채널의 패킷수신상태(장애검출)

3.2.3 노드간 접속의 구성과 유지

통신제어 서비스계층에서는 바이트 스트림을 전송하기 전에 노드간 접속을 구성한다. 접속 동작에서는 송신과 수신 세션번호를 일치시키고 전송되는 바이트 스트림의 시퀀스값을 초기화한다. 접속이 성립된

이후에는 해당 접속을 유지하기 위해 특정한 시간간격(최대 200ms)마다 1회이상 패킷을 전송해야 한다. 연동장치의 통신시스템은 고장이 날 경우 가능한 한 빠른 시간내에 검출하여 복구할 수 있도록 해야하기 때문에 패킷을 주기적으로 교환한다.

3.2.3 바이트 스트림 전송제어(윈도우 버퍼)

통신서비스 제어계층에서 전송되는 데이터는 응용 서비스계층에서 만들어진 바이트 스트림으로 구성된다. 통신서비스 제어계층에서 송수신되는 데이터는 송신한 순서대로 수신되어야 한다. 또한 재전송이 요구될 때 전송한 순서대로 재전송해야한다. 이러한 요구사항에 부합하기 위해서 슬라이드 윈도우 방식의 버퍼 제어기술을 사용한다[8]. 이 버퍼제어 기술은 수신 응용프로그램의 버퍼 읽기 동작에 맞춰서 동작하게 되고 수신장치가 다소 느리게 버퍼를 소진할 경우에도 데이터를 손실시키지 않고 자동적으로 송신장치가 느리게 데이터를 전송하게 된다. 이러한 동작을 셀프 클럭킹(Self-Clocking)이라고 하는데 처리 능력에서 속도차이가 많이 나는 호스트 간에도 데이터를 손실없이 순서대로 전달할 수 있는 방식이다.

일반적으로 송신모듈은 송신데이터가 전송에 실패했을 때 재전송 제어를 하기 위해 내부에 버퍼를 가지고 있다. 또한 수신모듈은 수신한 데이터가 실제 응용프로그램에 전달되기 전까지 보존될 버퍼를 가지고 있어야 한다. 통신성능을 향상시키기 위하여 송신모듈은 가능한 많은 데이터를 한번에 일괄 전송하려고 노력하며 한번에 전송하는 데이터의 길이는 수신모듈의 버퍼의 크기에 영향을 받는다. 따라서 수신모듈은 수신모듈이 가지고 있는 수신버퍼의 크기를 응답패킷을 통해서 송신모듈에 알려줌으로써 송신모듈은 이를 기반으로 의해서 알게 된 수신버퍼의 크기만큼 데이터를 일괄전송하려고 노력한다. 또한 수신모듈은 전송패킷으로부터 전달된 데이터로부터 버퍼에 데이터를 재구성하고 다시 수신버퍼의 크기를 응답으로 전송하는 과정을 반복하게 된다. 그림 9는 이러한 윈도 버퍼제어 알고리즘의 동작 매커니즘을 도식적으로 기술하고 있다.

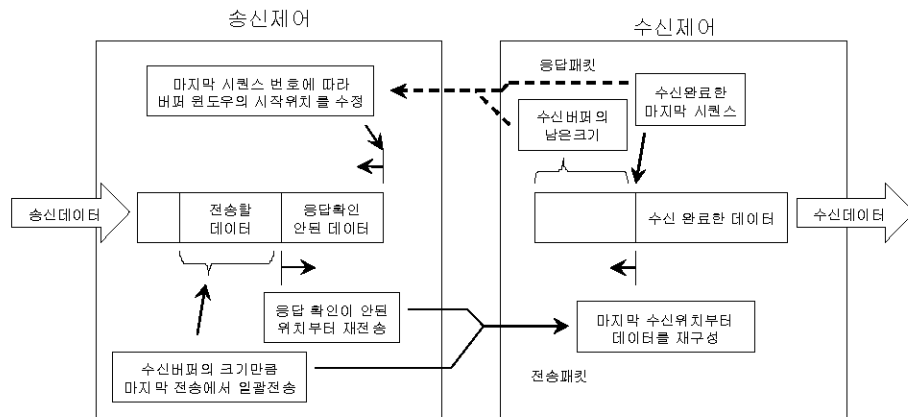


그림 9. 윈도 버퍼제어 알고리즘에 의한 바이트 송수신 스트림 제어

3.2.4 재전송 제어

본 프로토콜의 패킷은 Dual Ethernet망의 독립된 채널로 중복 전송하기 때문에 단일 채널로 전송할 때보다 재전송 가능성은 낮다. 또한 하위 데이터 전송 매체로 TCP/IP 프로토콜을 사용하기 때문에 TCP/IP 프로토콜에 내재하는 재전송 제어기능에 의해서 이더넷 패킷의 유실을 자동 복구하므로 통신제어 서비스 계층의 패킷이라도 유실될 가능성은 매우 낮은 편이며 접속을 유지하기 위해서 패킷을 주기적으로 교환하기 때문에 패킷의 유실시 이를 즉시 검출하고 재전송할 확률도 높다.

그러나 제안된 DPST 프로토콜은 TCP/IP 통신망에 적용으로만 한정하지 않는다. 재전송 제어기능을 제공하지 않은 UDP나 비동기 시리얼장치를 사용해서 구현될 때 정보유실을 자동으로 복구하지 않기 때문에 항상 재전송에 대한 매커니즘이 구현되어 있다.

수신측에서 패킷유실을 검출하는 것은 올바르지 않은 바이트 스트림 시퀀스가 수신될 때이며 송신제어

측에서는 특정시간(최대 1000mS)이내에 올바른 응답시퀀스가 수신되지 않을 때라고 가정한다. 패킷유실이 검출되면 송신제어모듈은 마지막에 올바르게 전송된 시퀀스부터 다시 전송한다. 그림 10은 재전송에 대한 제어 흐름도를 보여준다.

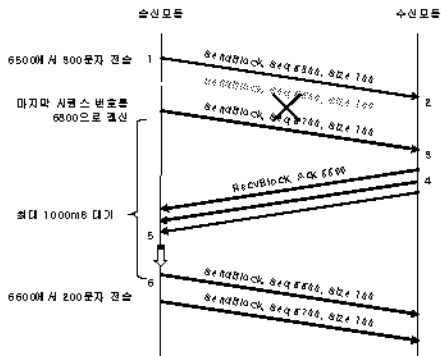


그림 10. 재전송 제어 흐름도

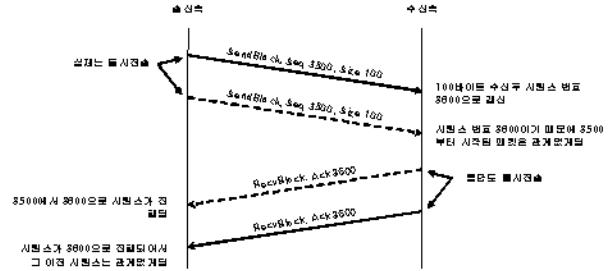


그림 11. 패킷의 중복전송과 제거 흐름도

3.2.4 패킷의 중복전송과 제거

패킷을 전송할 때는 이중화된 하위 통신채널(여기서는 TCP/IP 소켓)을 통해 같은 내용의 패킷을 전송한다. 하위 통신채널에서 에러가 없을 경우 패킷을 받은 쪽에서는 같은 내용의 패킷이 약간의 시차를 두고 수신된다. 데이터 패킷에는 데이터 블록의 시퀀스 번호가 있으므로 전후관계를 확인할 수 있다. 나중에 수신된 시퀀스번호는 윈도우버퍼를 업데이트 하는데 사용되지 않도록 하면 시간적으로 가장 먼저 수신된 패킷만 사용된다. 중복전송 패킷의 제거 흐름도는 그림 11과 같으며 그림 12는 상기 DPST 프로토콜의 통신제어 서비스 계층을 통하여 달성되는 전체적인 Dual Ethernet망의 데이터 송수신 메커니즘 및 이를 통해서 달성되는 무순단 Fail-Safe 통신의 개념을 도식적으로 기술하고 있다.

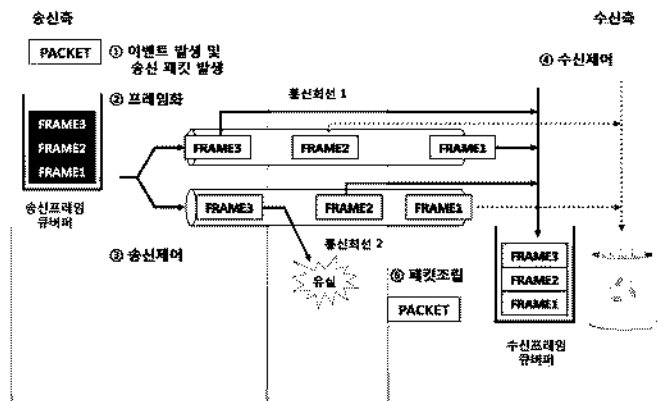


그림 12. DPST 프로토콜 통신제어 서비스 계층의 데이터 처리 개념도

3.2.4 통신채널의 장애의 검출

DPST 프로토콜은 특정한 하나의 채널에 장애가 발생하더라도 중단없이 통신을 계속할 수 있기 때문에 운영자는 통신시스템의 장애 상황을 검지하지 못할 가능성이 있다. 이러한 점은 설비의 운영측면에서 항상 바람직한 것이 아니므로 데이터를 신뢰성있게 무순단으로 전송하는 것도 중요하지만 설비의 장애를 검출하여 경고함으로써 장치의 고장을 신속하게 복구할 수 있도록 지원해 주어야 한다. 이를 목적으로 DPST 프로토콜에서는 그림 8의 RecvBlock에 수신채널의 패킷수신 상태정보를 추가하여 개별 채널의 장애를 검출할 수 있도록 하였다. 채널의 장애는 RecvBlock의 RxLive 필드에 정보가 저장되어 전송되고 이를 통하여 해당 통신채널의 고장상태와 동작성능을 모니터링 한다.

4. 시험결과

4.1 시험환경

제안된 DPST 프로토콜 알고리즘을 현대제철 전용철도 전자연동장치와 관제설비에 실제 구현하여 이를 검증한다. 해당설비의 철도신호 객체를 요약하면, 궤도 98개, 선로전환기 48개, 신호기 104개 및 설정 가능 진로가 160개로 구성되어 있다. 데이터 측정을 위한 시험환경은 그림 13과 같다.

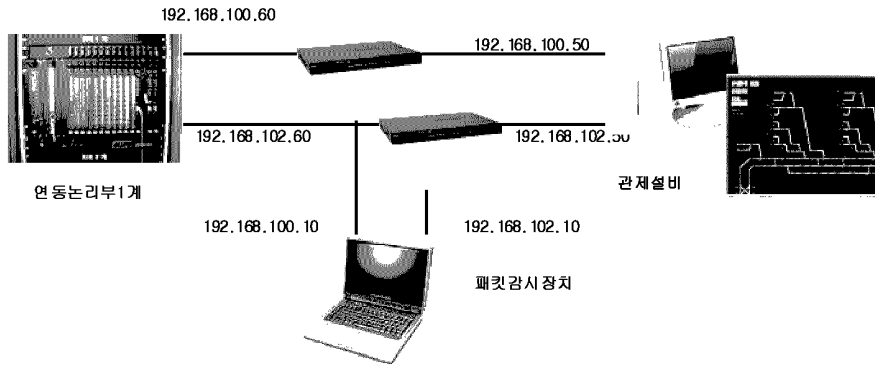


그림 13. DPST 프로토콜 시험환경 구성도

4.1 DPST 프로토콜 통신 성능분석

3장에서 설명한 DPST 프로토콜을 그림 13과 같은 현대제철 전용철도 전자연동장치에 구현하여 통신 성능을 분석한 결과 대기상태 모드에서는 그림 14와 같이 평균 300 Byte/sec 해당하는 통신 부하를 관측하였다. 이는 대기상태에서도 설비의 장애를 감지하기 위하여 상시 송수신하는 Heartbeat 데이터에 기인한 통신 트래픽이다.

또한, 시스템 초기화 또는 단말장치의 요구시 모든 데이터를 일시에 전송하는 일괄전송 모드에서는 평균 800 Byte/sec의 통신 쓰루풋을 발생시키며 데이터 전송 완료시까지 평균 30msec 정도 소요되는 것으로 측정되었다. 이는 기존의 비동기 시리얼 통신방식으로 구현할 경우 약 5초정도 소요될 것으로 예상되는 것에 비해 월등한 응답속도를 갖고 있음을 입증한다.

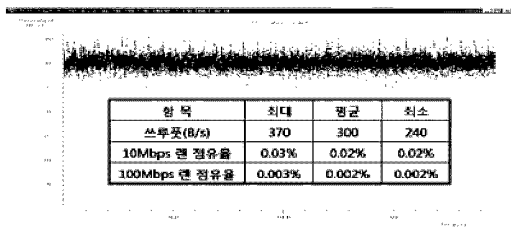


그림 14. 대기상태에서의 통신 결과

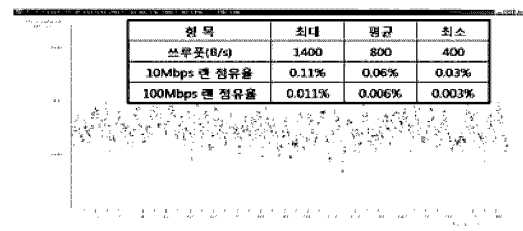


그림 15. 일괄전송(최대부하)시의 통신 결과

4.2 장애발생 및 복구 시험결과 분석

EN 50159-1에서는 통신장치를 위한 별도의 SIL레벨 달성에 대한 지침을 포함하고 있지 않지만 EN 50126 및 EN 50129의 지침에 따른 통신 설비의 하드웨어 장애에 기인한 시스템의 RAMS 요구사항을 만족하는지에 대한 분석할 필요성이 있다. 본 시험에서는 약 1초 간격으로 모든 철도신호 객체정보를 주기적으로 전송하도록 임의로 설정한 환경에서 연동논리부와 관제설비간 통신 케이블의 장애를 임의로 발생시킨 후 무순단 통신이 달성되는지 확인하였다.

그림 16의 첫 번째 그래프가 1번 채널의 단위시간당 패킷 개수이며, 두 번째 그래프는 2번 채널의 패킷 수를 나타낸다. 1번 채널이 정상 동작하는 상황 하에서 2번 채널을 약 40초 동안 통신 케이블을 끊은 뒤 다시 접속시켰다. 2번 채널에 장애가 발생한 상황에서도 1번 채널을 통해서 무순단 통신을 수행함을 확인하였으며 2번 채널이 복구된 후에는 해당 채널의 통신장애가 해소되어 자동으로 복구되고 통신이 재개되는 것을 관측하였다.

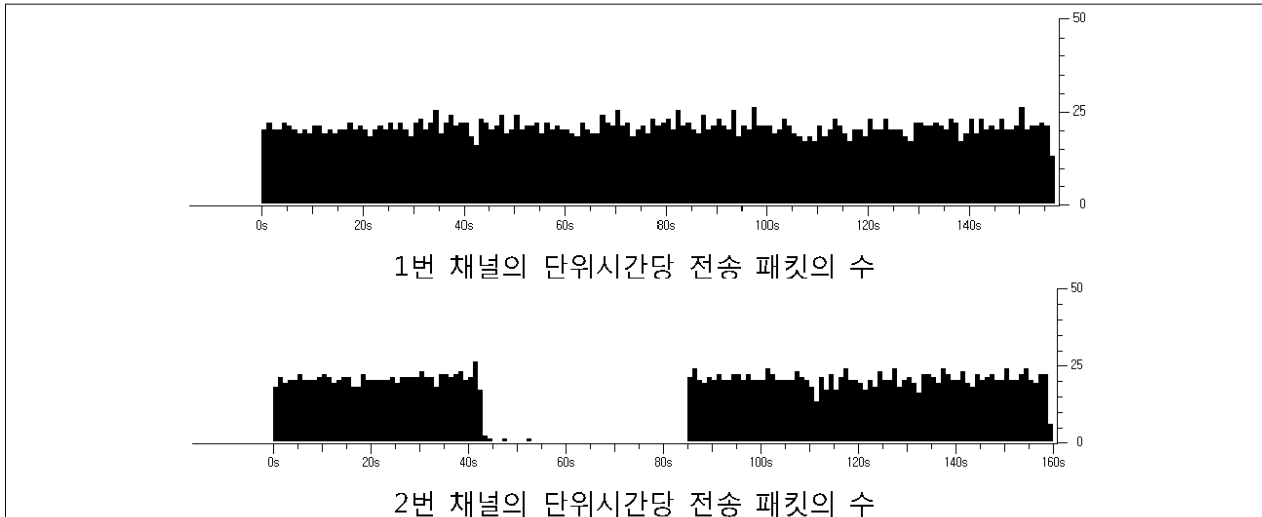


그림 16. 통신장애 발생시 Dual Ethernet상에서 관측된 통신 패킷의 형상

4.3 시험결과 고찰

3장에서 설명한 DPST 프로토콜은 EN 50159-1에서 기술하고 있는 설계 단계에서 고려해야 할 6대 보호 대책에 관련된 요구사항을 모두 만족하도록 설계되어 있다. 이에 대한 면밀한 고찰은 참고문헌 [8]에서 상세하게 기술되어 있으므로 이를 참조하도록 한다. 4장에서는 DPST 프로토콜의 통신 성능을 현대제철 전용철도 분석 및 통신장치 하드웨어의 랜덤 장애시에도 통신의 정지 혹은 지연없이 데이터 통신이 이루어짐을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 DPST 프로토콜을 EN 50126에서 규정하고 있는 RAMS의 관점에서 보면 다음과 같은 장점을 갖는다.

- (1) 신뢰성: Trusted 통신 + 실시간성 보장
- (2) 가용성: 장애상황에서 끊임없는 통신 상태 유지
- (3) 유지보수성: 통신 선로 품질 상태 관리, 통신 채널 고장 상태 상시 확인
- (4) 안전성: EN 50159-1의 지침사항을 설계단계에서 충분히 반영된 프로토콜 구조
- (5) 유연성: 객체관리 및 통신 프로토콜을 분리로 프로토콜/시스템간 상호 의존성 제거

5. 결론

본 논문에서는 철도 신호시스템의 Fail-Safe 네트워크를 위한 DPST(Dual Packet Seamless Transfer) 프로토콜을 제안하였다. DPST 프로토콜은 EN 50159의 안전성 관련 지침을 효과적으로 구현하기 위해서 응용서비스와 통신제어서비스를 나누어 구성하였으며, 제어서비스 계층은 상위응용서비스 계층에서 발생하는 정보와 내용을 구분하지 않고 처리함으로써 두 계층의 상호작용을 최소화해서 프로토콜의 구현 및 분석이 용이하도록 구성하였다. 또한 TCP에서 사용하는 것과 같은 윈도우 버퍼제어 기술을 사용하여 이중화된 통신채널에서 수신되는 중복된 패킷을 효과적으로 제거하도록 하여 Dual Ethernet 망을 각각 개별적으로 운영하지 않고 결합하여 Fail-Safe 기능을 달성하는 동시전송/병합수신의 무순단 매커니즘을 달성하였으며 그 성능을 현대제철 전용철도 연동장치에 구축하여 검증하였다.

제안된 DPST 프로토콜은 연동장치에 그 적용이 국한되지 않으며 통신기반 열차제어시스템 혹은 고신

뢰성의 통신망 구현을 달성하기 위한 유/무선 결합허용 Fail-Safe 통신망의 구축시에도 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 황종규, 조현정, 이재호 (2007), "열차제어용 표준 통신 프로토콜의 안전 특성 분석 및 평가", 한국철도학회논문집, 제10권 제3호, pp.365-371.
2. 김성운, 황종규 외 (2008), "열차제어시스템 통신 안정성 및 평가 도구 연구", 한국철도학회논문집 제11권 제4호, pp.349-356
3. EN 50126 (1999), "Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)"
4. EN50128 (2001), "Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems"
5. EN 50129 (2003), "Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling"
6. EN 50159-1 (2001), "Railway applications - Communication, signalling and processing systems Part 1: Safety-related communication in closed transmission systems"
7. EN 50159-2 (2001), "Railway applications - Communication, signalling and processing systems Part 1: Safety-related communication in open transmission systems"
8. 김경식, 이종성 외 (2008), "현대제철 일관제철소 전자연동장치 구축 프로젝트 상위통신 사양서", 현대로템(주) 기술보고서, 문서번호: REDE104523
9. W. Recharad Stevens, (1995), "TCP/IP Illustrated Volume1, 2, 3", Addison Wesley Publication Company
10. 김영태, (2003) "신호제어시스템", 테크미디어