

한국형 고속전철의 신경망, 제어네트워크(TCN)

◆ 박재현 / 인하대학교 정보통신공학부

서론

고속전철은 비행기가 활주로에서 이륙하는 속도를 증가하는 시속 300Km 이상의 고속으로 운영되는 열차로서 고도의 제어기술이 총동원되는 기술의 결합체이다. 고속전철내의 전자 장치들은 단지 추진이나 제동의 기능뿐만 아니라 차량의 상태에 대한 모니터링, 온라인 진단, 여행자 정보서비스 및 테스트용 백업등 다양한 기능을 수행하게 되어 있으며, 이러한 기능들을 보다 안전하고도 효율적으로 수행하기 위하여 분산제어방식으로 구축되고 있다. 특히 20량까지 연결하여 운영하는 고속전철의 특성상 각 차량에 고루 분산되어 있는 분산제어시스템을 효과적으로 지원하기 위한 제어네트워크는 고속전철 제어시스템의 중추적인 역할을 담당하고 있다고 하겠다.

제어네트워크를 통하여 여러 제어기들과 지능형센서 및 액츄에이터들 사이의 정보공유가 가능하며, 또한 기존의 하드와이어방식에 비하여 배선 수를 줄여 여러 장치들의 결합작업을 줄이고, 보다 작은 비용, 작은 크기와 용량으로 제어의 고도화와 복잡화에 따른 분산처리, 모니터링, 복합적 진단, 여행자 정보 서비스 등을 수행할 수 있게 한다. 이러한 네트워크의 설정은 전체 차량 시스템의 성능과 구조에 서로 영향을 주므로, 유지 보수성, 경제성, 안전성 등을 고려하여 다음과 같은 기술적 특성을 가져야 한다.

○ 실시간 통신

고속으로 운행하는 전철의 실시간 제어나 안전성

에 관련된 어플리케이션들은 실시간 통신을 요구한다. 특히 차량의 속도, 실시간 제어 신호, 알람 등과 같은 상태 변수들은 수~수십ms 단위로 주기적인 전송이 이루어져야 하며, 이들에 대한 응답 시간도 매우 짧아야 함과 동시에 최대 전송시간을 어떠한 여건, 과부하 상태나 단위 고장상태 등에서 도 보장 받아야 한다.

○ 내고장성 설계

메시지를 전달하는 동안 네트워크상의 연결 장애나 단락, 또는 이 네트워크에 접속되어 있는 장비들의 고장에 의해 네트워크 전체에 영향을 크게 미치지 않도록 네트워크를 설계하여야 한다. 이는 오류의 발생을 방지하거나 줄이는 기술(신뢰성:Reliability)과 만약 어떠한 오류가 발생 시 전송에 미치는 영향의 범위를 보장하는 기술(내고장성:Fault tolerance)이 요구된다. 이를 위해서 하드웨어적으론 이중화된 기기와 중복선로 등을 필수로 요구하며, 소프트웨어적으론 자체고장인식과 대처 기술, 전송오류검사 기능들을 필요로 한다.

○ 데이터 집적도

제어뿐만 아니라 모니터링이나 진단, 승객 정보서비스 등은 네트워크 시스템에 보다 많은 정보를 보다 빠르고 정확하게 공유할 수 있도록 요구하고 있다. 전송속도가 빨라야 함은 물론이고 전송효율(전송되어지는 데이터 중 유효한 데이터의 비중)이 높아야 하며, 데이터 특성(상태변수, 명령, 알람 등)을 살려야 한다.

○차량 상태 자동인식과 유지 보수성

고속전철의 승객 수용에 따른 차량 수요의 증대나 감소, 고장이나 서비스를 위한차량 배치의 변동, 또는 여러 운행모드변동에도 네트워크 시스템은 하드웨어나 소프트웨어의 수정이나 교체 없이 사용이 가능해야 한다. 이러한 외부의 변화에 자동으로 연결되고, 상대적 주소를 인식하는 네트워크 시스템을 필요로 하고 있다.

○표준화 작업과 경제성

네트워크 시스템의 선정은 고속전철의 기능과 안전성에 영향을 미치며, 또한 우리 제품의 세계진출을 위해서는 세계적으로 검증된 기술을 사용해야 한다. 이를 위해서 차량의 네트워크에 관한 세계적인 표준에 적합하여야 한다.

본 고에서는 한국형 고속전철에 사용되는 국제표준의 철도제어네트워크인 TCN(Train Communication Network)을 중심으로 고속철도용 제어네트워크를 설명하고, 이와 더불어 현재 철도산업에서 사용되고 있는 철도제어네트워크와 비교를 하고자 한다.

TCN (Train Communication Network)

국제 표준화 기구인 IEC(International Electrotechnical Commission)에서는 고속전철을 비롯한 모든 철도차량에 적용이 가능한 실시간 제어네트워크로 전동차용 통신 프로토콜 TCN(Train Communication Network)을 제안하여 IEC 61375-1 국제표준으로 확정

하였다. TCN은 분산된 제어기기들 사이의 빠르고 정확한 데이터 교환과 차량들과 플러그인 장비들 간의 상호운용성 및 유연성을 기본적인 목적으로 두고 있다. TCN은 그림 1 과 같이 차량내 통신 버스인 MVB (Multifunction Vehicle Bus)와 차량간 통신 버스인 WTB(Wired Train Bus)의 이중 계층 구조로 구성된다.

TCN은 다음과 같은 차량 네트워크 시스템이 요구하는 기능을 충족한다. 첫째, 전동차량에 쓰일 수 있는 모든 통신 구조의 지원이 가능해야 하고 그 통신 구조로는 MVB(Multifunction Vehicle Bus)와 WTB(Wire Train Bus)를 가진다. 둘째, 이상기후/진동/전기자기장에 대한 저항성을 가진다. 셋째, 결함 허용성(fault tolerance) 및 높은 데이터 집적도(high integrity)를 가진다. 넷째, 실시간 통신과 가용성을 위한 중복선로를 지원한다. 다섯째, 다변화하는 전동차구성에 따른 자동초기화 기능을 지원한다.

TCN은 그림 1 과 같은 이중적인 계층구조의 통신 버스를 가지는데 이유는 각 버스가 가지는 기능 및 특성과 깊은 연관이 있다. 차량간 버스(WTB)는 기존의 UIC leaflet 556과의 호환성을 위하여 길이 860m에 22 개의 차량과 32개까지의 노드를 지원하며 차량의 구성 변화가 자주 일어나는 점을 고려하여 설계되었다. 따라서, 차량변화에 따른 자동 인식(Inauguration)을 위하여 하드웨어적인 Numbering이 지원되며 노드의 고장 시 모든 응용 프로세스에게 새로운 환경을 구축하도록 알려주는 기능 등 초기화 기능과 안정성에 중점을 두었다. 반면 차량 내 버스(MVB)는 일반적으로 환경이 자주 바뀌지 않는 특성과 보다 높은 효율의 서비스를 위하여 설계되었다. 위와 같이 두 버스는 각각의

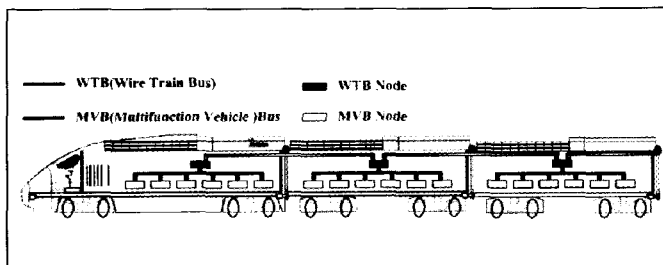


그림 1 고속전철제어네트워크(TCN) 구성

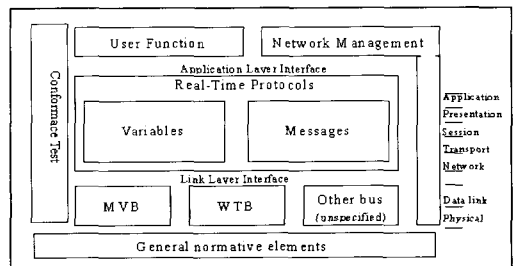


그림 2 TCN 프로토콜 스택

역할은 다르지만 OSI 7계층 중에서 물리계층과 데이터 링크 계층을 제외한 나머지 계층들은 같은 프로토콜 스택을 사용함으로써 높은 이식성, 호환성과 쉬운 유지 보수가 가능하다.

또한, 두 버스는 모두 그림 3과 같이 기본주기(Basic Period)의 시간적인 대역폭을 주기적 전송구간(Periodic Phase)과 비주기적 전송구간(Sporadic Phase)으로 나누어 전송하는 시분할 다중방식을 사용하고 있다. 기본주기의 일정구간을 점유하는 주기적 전송구간에서는 미리 정해진 순서에 따라 마스터가 폴링하게 되어 실시간 통신을 보장하고 효율이 높은 장점이 있으나 유연성에 문제가 있다. 연속하는 주기적 전송구간 사이에는 전송 요구에 의하여 마스터가 폴링하는 비주기적 전송구간으로 사용되는데 전송 요구 시 충돌 및 무응답이 있을 수 있으므로 시간 지연을 예측할 수 없게 된다. TCN의 데이터 서비스는 세가지 종류의 데이터, 즉 프로세스 데이터(Process data), 메시지 데이터(Message data), 관리용 데이터(Supervisory data)의 세 가지 데이터 서비스로 구분되고 전송구간은 그림 3에서 보는 바와 같이 전송방식에 의해 주기적 전송구간과 비주기적 전송구간으로 나누어진다.

MVB

MVB(차량 내 통신버스)는 차량 내부의 제어 장치 및 센서, 추진, 제동 장치 등의 분산 기기들간의 통신을 담당하는 버스로서 차량 내부에서 네트워크를 이용하는 모든 디바이스들을 연결한다. 또한, MVB를 통하여 차량 내부에서 통신되는 정보 중 다른 차량으로 전송할 필요성이 있거나 다른 차량에서 MVB를 통하여 통

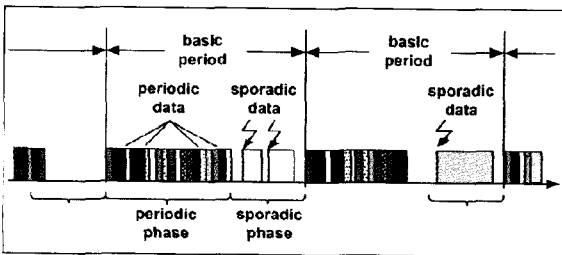


그림 3 TCN 데이터전송 방식

신되는 정보 중에서 수신할 필요성이 있는 정보는 WTB와 연결되어 있는 게이트웨이라는 MVB-WTB 통신 유닛을 통하여 다른 차량과의 통신을 수행한다. MVB 프레임은 오직 마스터 노드에 의해서만 생성되는 마스터 프레임과 마스터 프레임에 응답하기 위해 슬레이브 노드에서 생성되는 슬레이브 프레임의 두 가지 종류로 나뉘고 경계기호(Delimiter)에 의해 구분된다. 또한, 이 두 프레임을 합쳐서 그림 4와 같이 텔레그램이라 정의한다.

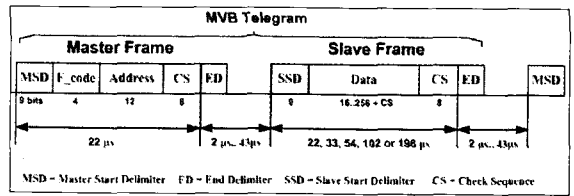


그림 4 MVB 텔레그램 구조

MVB의 데이터 서비스는 프로세스 데이터(Process data), 메시지 데이터(Message data), 관리용 데이터(Supervisory data)의 세 가지 데이터 서비스로 구분된다. 이 중 프로세스 데이터 서비스는 주기적 전송구간에서 미리 스케줄링된 순서에 의하여 이루어지게 되고, 메시지 데이터 서비스는 비주기적 전송구간에서 산발적으로 이루어진다. 관리용 데이터 서비스는 그 필요성에 따라 주기적 전송구간과 비주기적 전송구간 어디에서도 이루어질 수 있다.

프로세스 데이터란 차량상태(예) 차량의 속도, 모터 전류, 공기압력 등)와 주기적 제어명령 등과 같은 길이는 비교적 짧지만 강한 시간제약성이 있는 데이터를 말한다. 프로세스 데이터는 주기적 전송구간 내에서 마스터의 전송 요구에 의해 소스 디바이스에서 브로드캐스팅되고 이를 필요로 하는 싱크 디바이스들은 동시에 수신할 수 있는 장점이 있으나 전송 실패시 에러 회복(Error Recovery)이 수행되지 않기에 다음 전송 주기까지의 전송 지연이 발생한다. 시스템을 구성하는 제어 장비들간에 교환되는 프로세스 데이터들은 이들 장비에서 주기적 혹은 산발적으로 발생할 수 있으며 이를 수신하여 처리하는 장치는 일정한 주기로 샘플링하

여 프로세스 데이터를 획득하고 처리하게 된다. 프로세스 데이터에 반하여 상대적으로 시간제약성이 덜하고 이벤트 발생적이며 길이가 비교적 긴 데이터(예) 승객정보, 진단정보 등)를 메시지 데이터라 한다. 메시지 전송 프로토콜은 응용 계층, 메신저, 데이터 링크 계층으로 구분하여 구현할 수 있으며 응용 계층에서는 caller/replier로 동작하여 상대 디바이스와 메시지 데이터를 교환하는 동작을 하게 된다. 메신저는 세션 계층과 메시지 데이터를 전송할 수 있도록 패킷 단위로 분할하는 트랜스포트 계층과 디바이스가 가지고 있는 function address를 이용하여 패킷을 목적지 디바이스로 라우팅하는 네트워크 계층으로 구성되며 데이터 전송의 신뢰도를 높이기 위한 흐름 제어(Flow Control) 및 에러 회복(Error Recovery)이 트랜스포트 계층에서 지원된다. 프로세스 데이터 및 메시지 데이터와는 다르게 순전히 네트워크의 유지보수를 위한 데이터(예) 디바이스 상태, 마스터권 이양 등)를 관리용 데이터라고 하며 각 데이터의 특성에 따라 프로세스 데이터 서비스 혹은 메시지 데이터 서비스와 같은 방식으로 사용되기 때문에 네트워크 성능이나 전송특성과 밀접한 관계가 없다.

WTB

차량 간 통신버스(WTB)는 각 차량 내부의 통신 정보를 필요에 의해 각 차량의 디바이스들이 전송하거나 수신받을 수 있도록 연결해주는 역할을 한다. WTB는 하나의 마스터에 의해 운영이 되며, 이 마스터에 의하여 전동차 제어 신호와 같은 프로세스 데이터와 승객 정보와 같은 메시지 데이터를 전송한다. 마스터 권한은 전동차의 재편성이나 기존 마스터에 고장이 일어날 경우에 이양이 된다. 마스터 권한이 이양되면 모든 노드들은 자동으로 새로운 주소를 가지게 되고 차량간 통신 버스도 새로이 구성이 된다. 이와 같은 운영을 위하여 버스를 운영하는 마스터 노드는 하나지만 다른 모든 노드들도 마스터가 될 수 있는 기능이 포함되어 있다.

차량간 통신버스는 shielded twisted wire pair로 구성이 되고 UIC 에서 정한 26m짜리 전동차 22량에 대하여 50%정도에 여유를 가지며, 최대 길이는 860m, 데

이터 전송 속도는 1Mbit/s이다. 각 차량간의 연결은 automatic coupler 또는 hand-plugged cable을 이용하여 차량은 그 운행 방향을 예측할 수 없기 때문에 전기적 배선들은 차량의 각 종단에서 나누어지고 차량이 연결이 될때 양 차량에 있는 두 배선이 연결되며 이중 적어도 하나만 연결이 되어도 동작한다.

차량간 통신을 하기 위해 마스터는 슬레이브들(하나 또는 여러 슬레이브)에게 Master Frame을 브로드캐스팅하고, Master Frame에 의해 선택된 슬레이브는 이에 대한 응답으로 해당되는 Slave Frame을 브로드캐스팅하게 된다. 이 때 각 슬레이브들은 마샬링 과정을 통하여 필요한 데이터를 추출하게 된다. 이와 같은 하나의 통신과정에서 사용되는 프레임들(Master Frame과 Slave Frame)을 Telegram이라고 하고 그림 5에 나타내었다.

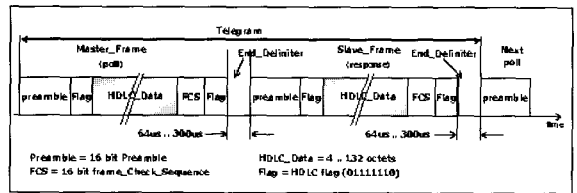


그림 5 WTB 텔레그램 구조

IEEE-1473 네트워크

TCN 네트워크는 전통적으로 철도관련 기술이 강한 독일, 이태리 등 유럽 국가를 중심으로 표준이 확립된 네트워크이다. 이에 반하여 미국에서는 독자적인 철도차량용 제어네트워크 표준을 마련하는 과정을 거쳐 1999년 IEEE-1473 표준을 제정하였다. 그러나 IEEE-1473 표준은 새로운 네트워크 프로토콜을 제안한 것은 아니며, 기존에 상용화되어 사용중인 프로토콜 중 철도차량에 적합한 프로토콜을 선정하고, 대신 이들 네트워크를 이용하기에 필요한 상위수준의 표준 정립에 많은 노력을 기울이고 있다. IEEE-1473 프로토콜도 TCN과 같이 계층적인 구조를 가지고 있는데, 차량간 통신망으로는 TCN과 같은 WTB 프로토콜을 사용한다. 그리고 차량내 네트워크로는 TCN과 같은 MVB(1473-T) 혹은

LonWork(1473-L)을 사용하도록 하고있다. 따라서 본 절에서는 TCN과 중복되는 WTB 및 MVB에 대한 설명은 생략하고 1473-L로 사용되는 LonWork 네트워크에 대하여 설명한다

LonWork은 미국의 Echelon사에서 개발된 저렴하고, 광범위한 사용, 개발의 편의성을 제공하는 네트워크로서 주로 빌딩자동화에 사용될 목적으로 개발되었으며 다음과 같은 특징을 가진다.

○LonTalk 프로토콜 : OSI 7 layer를 모두 사용하여 차량 어플리케이션에서 필요로 하는 네트워크 서비스를 수행한다.

○물리적 계층

다양한 전송 매체를 사용하는 네트워크를 지원한다. 특히 고속전철에 사용될 수 있는 4가지 전송 매체는 서로 다른 특징과 어플리케이션을 가질 수 있다. 지원되는 매체로는 Twisted Pair cable, Power Lines, Radio Frequency, Optical fiber들이 있다. Twisted pair Transceiver로서 FT-10 (78kbps)와 TP/XF-1250 (1.25Mbps)가 있으며, FT-10 (78kbps)는 차량 네트워크에 다음과 같은 특징으로 쓰여질 수 있다. 하나의 세그먼트(segment)에 128개의 노드를 지원하며, 라우터를 통해 거리나 노드들의 수를 확장할 수 있다.

○MAC 계층

MAC 계층으로 predictive p-persistent CSMA를 사용한다. 이것은 CSMA의 장점을 간직하면서 실시간 통신이요구되는 제어용 어플리케이션에 적용에 대한 단점을 극복한다. p-persistent CSMA에서와 마찬가지로 LonWorks노드는 매체에 대한 그들의 접근을 무작위(randomize)로 한다. 이것은 둘이나 그 이상의 노드가 패킷을보낼수 있도록 네트워크가 idle로 되기를 기다릴 때 필연적으로 발생하는 충돌을 피할 수 있다.

LonWorks의 가장 큰 장점은 고속전철이외의 분야, 특히 빌딩자동화 분야에서 널리 사용되는 프로토콜로서 세계적으로 3000개의 OEM(Original Equipment Manufacturer)회사들이 널리 분포(US 35%, Europe 35%, Japan 15%, 그 외 나머지 지역 15%)되어 사용되

고 있다는 점이다. 이는 다수의 하드웨어 제조업체가 존재할 수 있는 시장을 제공하여 하드웨어 구축비용이 낮아질 수 있다는 장점이 있다. 또한 LonMark Interoperability Association이라는 연합회에서 어플리케이션의 상호 작동성(Interoperability)을 관리하고 보장하고 있다. 반면 실시간성이 떨어지며, 비교적 저속으로 동작하는데 적합하게 설계되었다는 단점이 있으며, 유럽을 중심으로하는 철도차량 용 부품과의 호환성이 결여되는 단점이 존재한다.

결론

지금까지 한국형고속전철에 사용되고 있는 국제표준규격인 TCN과 미국표준인 IEEE-1473에 대하여 간단히 살펴보았다. 표1은 경부고속전철 KTX의 원형인 프랑스의 TGV에서 사용되고있는 Tornad* 네트워크, TCN 그리고 IEEE-1473을 비교한 표이다. 표에서 알 수 있는 것처럼 TGV에서는 Tokenbus 방식의 IEEE 802.4 프로토콜을 사용하고 있다. 이것은 실시간성은 우수하나, 계층적 구조(차량간 및 차량내)를 지원하지 못하여, 모든 제어기가 한곳에 집중되어 있는 구조에는 사용할 수 있으나, 고도의 분산제어시스템에는 적합하지 못하다. 그리고 무엇보다도 이것은 국제표준에 적합하지 않은 사실 네트워크 규약으로 호환성과 경제성이 떨어지는 프로토콜이라 할 수 있다. 아울러 미국에서는 TCN과의 호환을 위하여 IEEE-1473L 과 IEEE-1473T 간의 게이트웨어 구축과 관련된 기술 표준을 마련하고 있다.

지난 십년간 IT 산업의 놀라운 발전은 고속철도용 제어네트워크를 포함한 산업 전반에 걸쳐 많은 변화를 가져왔다. 최근 산업용 제어시스템에서의 변화 중 하나는 IT 산업의 기술을 접목시키는 과정으로 많은 실시간 제어시스템에서 이더넷의 사용이 시도되고 있다. 이미 선진국에서는 IT기술을 고속전철의 제어시스템에도 적용하는 연구가 상당부분 진행중에 있으며 이와 같은 움직임은 앞으로 가속화되리라 본다. 우리 손으로 개발한 한국형 고속전철에도 이와같은 미래를 내다 보는 기술 개발이 필요할 것이다.

표 1 고속전철용 제어네트워크 비교표

	TORNAD*	LonWorks	TCN	
			WTB	MVB
Topology	bus type	Free topology	Bus type	bus or star
Medium	shielded twisted pair	shielded twisted pair, Power line, Optical fiber, Radio Frequency	Shielded twisted pair	RS485(~20m) shielded twisted pair (~200m) OF(~2000m)
Data rate	1 Mbps	78Kbps, 1.25Mbps(TP) 10kbps, 5kbps(PL)	1 Mbps	1.5 Mbps
En/Decode	Differential Manchester	Differential Manchester	Standard Manchester	
# of node		128/segment	32(22 vehicle)	32/segment
MAC	802.4 token bus	Predictive p-persistent CSMA	Periodic and sporadic Master(poll)/Slave(respond)	
Frame Format	802.4 frame format (23 byte without data)		Extended HDLC (11 byte without data both master & slave)	33 bit for master 17 bit without data for slave
	TORNAD*	LonWorks	TCN	
			Process data	Message data
3~7 layer	○	○	Not existent	○
Application	X/Open standard	Standard Network Variable Type (SNVT)	Individual access Cluster access Set access	Call_message/Reply_message Multicast Message

[참고문헌]

[1] IEC 61375-1 Standard, Train Communication Network: Part (1)General Architecture (2)Real-time Protocol (3)Multifunction Vehicle Bus (4)Wire Train Bus (5)Train Network Management (6)Train Communication Conformance Testing, 1999.
 [2] UIC 556 Standard, Information Transportation on the Train Bus, 1999. 05. 01. v2.0
 [3] H. Kirmann and P. A. Zuber, "IEC/IEEE Train Communication Network," 1996.
 [4] G. Fadin and F. Cabaliere, "IEC TC9 WG22

Train Communication Network Dependability and Safety concepts," World Congress on Railway Research 97, 1997.

[5] P. Etter and H. Kirmann, "Use of standardized integrated communication systems on vehicles and trains," Proceedings of the International Conference on Speedup Technology for Railway and Maglev Vehicles, Vol.1, 1993.
 [6] C. Schifers and G. Hans, "IEC 61375-1 and UIC 556-international standards for train communication," Vehicular Technology Conference Proceedings, VTC 2000-Spring Tokyo, 2000 IEEE 51st, Volume: 2, 2000.