

한국형 고속 전철에 적용된 열차 통신 네트워크의 고장 진단 기법에 관한 연구

조창희, 박민국, 권순만, 김용주, 김성신
한국 전기 연구원, 부산 대학교

Study on Fault Diagnosis Method of Train Communication Network Applied to the Prototype Korean High Speed Train

Chang Hee Cho, Min Kook Park, Soon Man Kwon, Yong Ju Kim, Sung Shin Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, Pusan National University

Abstract - 한국형 고속 전철 과제는 6년의 과제 기간을 가지는 국가 연구 사업으로, 한국 실정에 적합한 차세대 고속 전철을 시험 제작하여 운용하는 것이 목적이다. 시속 350 km/h의 운행 속도를 목표로 하는 한국형 고속 전철은 현재 개발이 완료되어, 시험 주행 트랙에서 증속을 위한 시험 운행을 계속하고 있다. 한국형 고속 전철은 열차 내 각종 제어 장치들 간의 데이터 교환을 위해서 실시간 네트워크인 열차통신 네트워크(Train Communication Network; TCN)를 사용한다. 약 10년간의 표준 보완 기간을 거쳐서 1999년 국제 표준으로 확정된 TCN(IEC61375)은 열차 전용의 실시간 통신 네트워크로 열차 장치의 제어 및 진단에 적합한 다양한 기능과 특징을 가지고 있다. 한국형 고속 전철은 열차의 주 제어 및 감시를 담당하는 주관 제어 장치(SCU, Supervisory Control Unit)와 열차 안전에 중요한 역할을 하는 자동 열차 제어 장치(ATC, Automatic Train Control)를 포함하는 55개의 제어 장치들이 TCN으로 연결되어서 상호간의 데이터 교환을 수행하도록 구성되어 있다. 본 논문에서는 한국형 고속 전철에 사용된 TCN의 구조와 실제 펠드에 사용되어지기 위해서 필수적으로 필요한 네트워크의 고장 진단 기법에 대해서 설명한다.

1. 서 론

최근 고속 전철은 항공에 비해 도시 내부에서의 접근의 우수성과 대량의 화물 및 승객의 운송에 있어서의 높은 에너지 효율, 그리고 화석 연료를 대신한 전기 에너지 사용으로 친 환경적인 면에서의 우수성 등 많은 장점들을 내세워 차세대 교통 수단으로서의 입지를 굳히고 있다. 고속 전철에 적용된 기술은 현대의 거의 모든 기술 분야를 포함하며 건설, 신호, 구조, 역학, 제어, 계측 등이 이에 해당한다. 제어 시스템의 관점으로 보았을 때 고속 전철의 전체 시스템을 제어하는 제어기들은 다음 5가지 분야의 시스템 그룹으로 크게 나눌 수 있다.

- 추진 시스템
- 제동 시스템
- 전력 시스템
- 관리제어 시스템
- 보조 시스템

이러한 시스템 그룹들은 다수의 마이크로프로세서 기반의 제어기들로 구성되며 이들 제어기 간의 상호 운용을 위한 데이터 교환은 하드와이어나 네트워크를 통해서 이루어진다. 한국형 고속전철에 있어서 차량의 주 네트워크는 TCN으로 결정되었다. 안전에 관련하여 하드와이어 라인과 동시에 네트워크로 전달되는 신호를 포함하여 차량 내 진단 및 제어에 관련된 모든 데이터는 TCN을 통하여 각 제어기로 전송되어진다. 거의 대부분의 신호들이 TCN을 통하여 전달되어지므로, 제어 및 진단에 관련된 전체 시스템의 동작특성은 TCN의 동작 특성에

많은 영향을 미치는데, 이는 실제 열차의 운행 시 열차의 운전 특성 및 시스템의 안정성에 중요한 요인이 된다. 네트워크의 이러한 중요성을 고려해 볼 때 네트워크의 고장 여부의 진단과 그에 대한 대처가 필수적이며 전체 시스템 차원에서 이에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다.

1.1 열차 통신 네트워크(TCN)의 개요

1999년 여름, TCN은 마침내 열차 통신을 위한 네트워크의 국제 표준(IEC61375, Electric Railway Equipment - Train Communication Network)으로 확정 되었다. TCN은 2 단계의 계층으로 구성되는데, 차량간의 통신을 담당하는 WTB(Wire Train Bus)와 차량 내부 장치간의 통신을 담당하는 MVB(Multi-function Vehicle Bus)가 각각 상위와 하위를 담당한다. 철도 산업에 특화된 네트워크로서 TCN은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 실시간 네트워크
- 프로세스 데이터와 메시지 데이터
- Source Addressed Broadcast
- Inauguration
- Fault Tolerant Architecture

TCN은 실시간 네트워크로서 각 장치간의 데이터 교환을 일정한 시간 한계 내에서 수행하는 것을 보장한다. 이는 프로세스 데이터의 특징적인 데이터 교환 방식인 Source Addressed Broadcast의 특성으로 네트워크의 데이터 교환을 관리하는 버스 마스터가 특정 변수를 보낼 것을 요청하는 마스터 프레임에 버스에 전송하면 해당 변수를 전송하기로 되어있는 장치가 버스 내의 모든 장치에 변수 값을 포함하는 슬레이브 프레임을 전송하며, 해당 변수를 수신하기로 되어있는 장치는 그 변수 값을 자신의 메모리에 복사한다. 따라서 각각의 변수들은 미리 정해진 일정에 따라서 버스에 브로드캐스트되어지므로 실 시간성을 확보할 수 있다. Inauguration은 WTB 노드의 기능으로서 차량의 편성이 변경될 때 전체 WTB 노드는 초기화되며 그 과정에서 각 WTB 노드는 네트워크 주소, 차량 방향, 장치 정보, 기능 정보 등 네트워크와 차량에 관련된 정보를 획득한다. 또한 TCN은 Fault Tolerant한 특성을 위해서 전송 매체(라인)의 이중화, 마스터권의 이양, 단락 회로 보호, Anti-Jabbing 등의 기능을 가지고 있다.

1.2 한국형 고속 전철의 개요

G7과제로 진행중인 한국형 고속 전철 개발 사업은 현재 경부선 고속 전철(KTX) 보다 향상된 속도(350 km/h)의 상업 운전 속도를 갖는 고속 전철을 개발하는 것을 사업 목표로 한다. 상업 운전에서의 KHST의 운행 편성은 11 또는 20 량의 열차로 구성될 예정이지만, 최초의 개발된 시제차는 그림 1에서 볼 수 있듯이 전·후방에 위치하는 2량의 동력차와 이와 각각 인접한 2량의

동력 객차, 그리고 가운데에 위치한 3량의 객차를 더해
서 총 7량의 차량으로 구성된다.

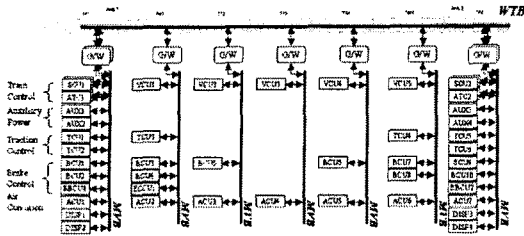


그림 1 한국형 고속 전철 시제차의 제어 장치와 네트워크 구성

또한 그림에서 한국형 고속 전철의 TCN구성을 볼 수 있다. 각 차량은 하나의 MVB 세그먼트를 이루어 차량 내부의 제어장치들을 연결하고 있고, 각각의 MVB 세그먼트는 게이트웨이(WTB 노드)를 통해서 서로 연결되는 TCN의 2 계층 구조를 따르고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 고속 전철의 주 제어기인 SCU(Supervisory Control Unit)와 ATC(Automatic Train Control)를 포함하여 추진(TCU) 및 제동 장치(BCU, BCU, ECCU), 그리고 그 외에 보조 전원 장치와 공조 장치 등이 TCN에 연결되어서 상호 정보를 교환하며 차량의 제어를 수행한다.

2. TCN의 고장 진단 기법

TCN을 이용하여 정보의 전송 및 수신을 하는 제어 장치의 경우, 정보의 전송 및 수신에 앞서서 TCN이 현재 정상 상태인지 고장 상태인지를 판단할 수 있어야 한다. 또한, TCN이 정상인 경우에도 자신이 수신 받은 네트워크 신호가 유효한 데이터인지 검증할 방법이 필요하다. 다수의 온 보드 제어기들이 여러 기업의 프로그래머들에 의해 개발되고 있는 실정에서 TCN의 고장 상황에 대한 진단과 그에 대한 대책을 설정하는 것이 필수적인 요건이 되었다. 이는 전체 시스템의 특성을 좌우하는 중대한 일로서 동일 고장에 대해서 각각의 제어장치가 다르게 반응한다면, 일시적으로 전체 시스템이 혼란 상태에 빠질 가능성도 있다. 지금까지의 TCN의 고장상태에 대한 판정과 대책에 대해서 공통의 가이드라인이 존재하지 않았으므로, 각 장치의 응용 프로그램 작성자들이 자신의 논리에 의하여 프로그래밍을 해왔으며, 프레스네스 타임아웃(Freshness Timeout)의 횟수나, 고장시의 대책에 대해서 공통된 기준이 없었으므로, 각 네트워크 관련 장치의 특성이 상이하여 전체 시스템 특성에 문제가 있었던 것이 사실이다. 그러므로 TCN 네트워크에 의해 데이터를 주고받는 장치들이 네트워크 장치의 정상 및 고장 상태를 판별하기 위한 방법과 전달받은 신호의 유효성을 검사하는 방법에 대한 가이드라인을 알고리즘, 블록도, 흐름도 등으로 제시하여 네트워크 관련한 전체 시스템의 안정성에 도움을 주고자 하는 것이 본 연구의 목적이라고 할 수 있다.

2.1 네트워크의 고장 원인 및 대책

TCN의 고장 원인 및 현상은 기 작성된 제어 사양서(CSS, Control System Specification)에 정의되어 있는 바와 같이 원인, 종류 별로 다양하나, TCN을 사용하는 사용자(응용 프로그래머)의 입장에서 보았을 때 네트워크의 고장 상태는 크게 다음의 2 가지 항목으로 구분할 수 있다.

- MVB 보드와의 연결 불량

- MVB 보드로부터 전달받은 신호의 불량

즉, 제어 장치의 입장에서는 자신을 TCN과 연결시켜 주는 네트워크(MVB) 보드가 비정상인 경우와, MVB 보드와의 연결은 정상이나 전송 받은 신호 데이터가 유효하지 않은 경우로 크게 분류할 수 있다. 각각의 경우에 대해서 MVB 장치를 사용하는 응용 프로그램 입장에서 감지할 수 있는 고장 현상과 이에 대한 대응 방법에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

2.1.1 상호 하트비트에 의한 고장 진단

열차 내 제어기들의 TCN 네트워크 접속을 위한 장치는 MVB 보드이다. 각 제어 장치는 열차 네트워크와의 안정적인 접속을 위해서 인터페이스 장치인 MVB 보드와의 지속적인 연결 확인을 필요로 한다. 마찬가지로 MVB 보드는 자신이 TCN 네트워크로 연결해줄 호스트 제어기가 적절한 프로그램 수행을 하고 있는지 검증해 줄 방법이 필요하다. 상호 하트 비트는 이러한 각자 카드가 자신의 유효함을 상대방에게 알려줄 수 있는 도구로 각 카드는 이 하트 비트 정보를 참조하여 상대방 장치의 정상 작동중임을 판단할 수 있다. MVB 보드와 호스트 제어장치와의 하트 비트는 두 장치 사이의 듀얼 포트 메모리인 MVB의 DP RAM 영역에 존재하며, Service Area의 두 개의 16비트 워드로 구성된다. MVB Heartbeat는 MVB 카드가 설정하는 영역으로 호스트 제어장치는 이 메모리 영역을 점검함으로써 MVB카드의 정상 동작 여부를 체크할 수 있다.

2.2 네트워크 신호의 유효성 검사

자신의 TCN 장치(MVB 보드)와의 연결 불량인 경우는 위에서와 같이 간단하게 메모리 체크 또는 버스 체크, 그리고 상호 하트비트 점검에 의해서 판정 가능하다. 이와는 별도로 자신의 네트워크 장비가 정상인 상태에서 잘못된 신호 데이터가 수신되는 경우가 있는데 이럴 경우, 어떤 방법으로 네트워크로 전달 받은 신호의 유효성에 대한 검사를 할 수 있는지에 대한 방법을 제시한다.

2.2.1 싱크 시간 관리

싱크 시간 관리는 자신이 입력 받도록 정해진 신호 데이터의 유효성을 검사하는 가장 기본적인 방법으로 해당 포트(신호)에 대응하는 싱크 시간 데이터(Sink Time Data)를 읽어봄으로써 지금 읽는 시점으로부터 얼마나 시간이 경과한 데이터인지 판단할 수 있다. 싱크 시간 관리는 프레스네스 타이머(Freshness Timer)로 불리는 싱크 데이터에 연결된 변수 값에 의해서 제공된다. 이 값은 버스에서 새로운 데이터가 써진 후로부터 얼마만큼 시간이 경과되었는지를 나타내 준다. 현재 사용되고 있는 Freshness Timer의 해상도는 16 msec 이고 최대 4초의 값을 갖는다. 이때 주의하여야 할 점은 Freshness Timer의 값이 소스 장치가 언제 데이터를 전송했는지를 의미(소스 시간 관리 - Source Time Supervision)하는 것은 아니다 라는 점이다. 예를 들어 게이트웨이를 통과하여 다른 차량에 있는 MVB 세그먼트로 전달되어지는 신호의 경우에 싱크 시간 기록은 원 소스 장치가 데이터를 버스에 전송한 시점의 기록이 아니라 WTB 버스로부터 데이터를 전달받아서 해당 세그먼트에 데이터를 쓴 게이트웨이가 버스에 데이터를 쓴 시점을 의미한다. 싱크 시간 관리의 오류 판단 기준은 점검한 Freshness 데이터 값이 해당 신호 전송주기의 3배 이상일 경우 Freshness 오류로 간주한다.

2.2.2 체크 변수 (Check Variable)

체크 변수는 응용 프로그램이 네트워크 데이터에 대해 주도적으로 설정/해제를 할 수 있는 데이터로 네트워크의 설계 시 전송하고자 하는 신호 데이터가 위치하는 포

트 중 일부분을 체크 변수로 할당할 수 있다. 체크 변수는 ANTIVALENT2 형식의 2 비트 정보로 다음과 같은 값을 가진다.

- 00B : 잘못된 데이터
- 01B : 올바른 데이터
- 10B : 강제 할당된 값의 데이터
- 11B : 데이터가 정의되지 않음

체크 변수를 설정하기로 되어있는 네트워크 신호 데이터의 경우 송신 장치(Source Device)는 데이터가 유효한 경우 01을 체크 변수에 설정하여 전송한다. 한편 수신 장치(Sink Device)는 체크 변수가 존재하는 네트워크 신호 데이터의 경우 데이터의 읽기를 수행할 때 체크 변수도 동시에 체크해야만 한다. 즉, 수신 장치의 경우 점검한 체크 변수의 값이 01 이나, 10의 경우는 유효 데이터로 판단하고, 체크 변수의 값이 00 이나, 11 인 경우 무효 데이터로 판단한다.

2.3 체크변수의 유무에 따른 유효성 검사

네트워크 신호 데이터(포트)는 체크 변수를 위하여 별도의 저장 공간을 가지고 있는 것이 아니라, 자신의 데이터 영역(포트) 중 일부분을 체크 변수를 위해 배정한 것이다. 따라서 모든 신호 데이터에 체크 변수를 할당하는 것은 데이터의 크기, 포트의 크기 등을 고려할 때 어려운 일이므로, 중요한 변수에 한정하여 체크 변수를 배정하는 것이 일반적이다. 그러므로 체크변수를 가지고 있지 않은 데이터에 대해 신호의 건전성을 판단할 수 있는 기준이 필요하다.

2.3.1 체크 변수가 있는 신호의 유효성 검사

체크 변수를 포함하고 있는 네트워크 신호 데이터의 경우에는 싱크 시간 관리(Freshness_Time 점검)와 체크 변수의 점검을 같이 시행하여 두 점검의 결과가 모두 유효한 경우에만 입력 받은 신호 데이터를 유효한 것으로 인식한다. 현재 구성되어 있는 네트워크 신호 테이블 중에서 체크 변수가 있는 신호들은 대부분이 각 장치의 상태를 나타내주는 신호들로서, 신호의 이름은 "장치명_STATUS"이 대부분이다. 양쪽 동력차의 주관 제어기(SCU1, SCU2)는 체크 변수가 있는 신호들이 정상적인 상태(유효한 데이터)로 입력받았을 경우, 자기 자신과 각 장치와의 네트워크 연결 상태가 정상적인 것으로 판단하며, 그 판단 결과를 SCUx_TCN_STATUS 라는 변수에 저장한다. 이 SCUx_TCN_STATUS 신호는 각

장치의 TCN 상태를 저장해둔 64bit의 변수로, 네트워크에 연결된 모든 장치로 전송된다.

2.3.2 체크 변수가 없는 경우의 유효성 검사.

체크 변수가 없는 신호 데이터의 유효성 검증은 다른 방법에 의존할 수밖에 없는데, 그것은 SCU로부터 전달 받은 SCUx_TCN_STATUS 로 이름 붙여진 신호를 이용하는 방법이다. SCUx_TCN_STATUS는 SCU가 확인한 열차 내부 장치와의 TCN 연결 상태 정보를 담고 있는 변수로서, 변수의 각 비트를 검사하여 그에 해당하는 장치의 TCN 접속 상태 건전성을 참조할 수 있다. 즉 SCU는 열차내의 모든 장치로부터 장치의 상태를 나타내는 신호를 전송 받는다. 그러므로 각 장치와의 연결 상태를 기본적으로 점검하고 있는 상태이며 이 정보는 열차내의 모든 장치들에게 전달되어 각 장치의 네트워크 건전성을 판단하는 기준이 된다. 위의 내용을 종합적으로 검사하는 네트워크 전달 신호의 유효성 검사 흐름도는 그림2와 같다.

3. 결 론

본 논문에서는 한국형 고속 전철의 시제차에 적용된 기본 네트워크인 TCN의 고장 진단 및 대책에 대한 연구 결과를 볼 수 있다. 서론에서 서술한 바와 같이 현대의 디지털 및 분산 시스템 환경에서는 제어 및 진단을 위한 신호들의 흐름을 담당하는 네트워크의 효율성 및 안정성이 전체 열차 시스템의 성능 특성이나 안정성에 중요한 영향을 미친다. 네트워크의 안정한 운용을 위해서는 비정상 상태의 적절한 진단 및 그에 대비한 대책에 대해 각 제어기의 공통적인 진단 및 대응책이 필요하며 본문에서 Freshness_Timer 및 체크 변수, 그리고 체크 변수가 없는 신호 데이터의 경우 유효성 검사의 기본적인 지침을 알아보았다.

주) 본 논문은 건설교통부, 산업자원부 및 과학기술부의 지원에 의한 G7 고속전철 기술개발사업의 일환으로 수행한 연구과제의 내용임.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 61375 1 Electric Railway Equipment Train Bus Part 1 : Train Communication Network, 1999
 [2] The Overview of trends of High Speed Train, PAI, 1997
 [3] Hubert Kirrmann et al, "The IEC Train Communication Network", 16th Conference on Transportation Systems, KoREMA, Split/Ancona, November, 1996
 [4] C.H. Cho, J.D. Lee, J.H. Lee, K.H. Kim, Y.J.Kim, "Design of TCN based Train Control System for the Korean High Speed Train", ISIM2000, 7 11, Oct. 2000
 [5] C.H. Cho, J.D. Lee, J.H. Lee, K.H. Kim, Y.J.Kim, "Design of Train Network Simulator based on Train Communication Network", ISIE2001, 12 16, Jun. 2001
 [6] 김용주, 김종수, 류홍제, 조창희, 이주훈, 박도영, "세계의 고속 전철 기술 동향", 전기학회지, Vol49, No. 5, 515 522, 2000

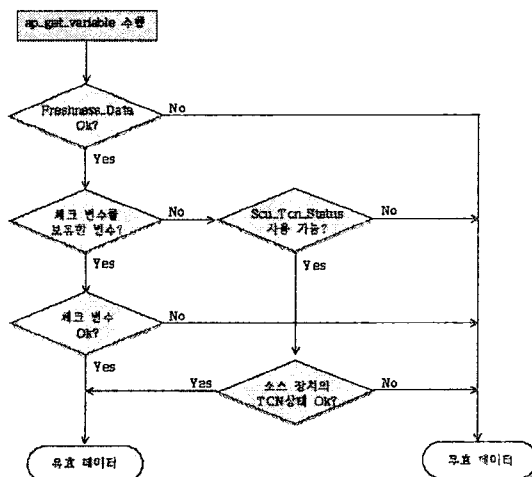


그림 2 네트워크 신호의 유효성 검사 흐름도