

한국형 고속 전철의 실시간 네트워크를 위한 새로운 데이터 테이블 설계 프로그램

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

New Database Table Design Program of Real Time Network for 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 - 현재의 공장 자동화, 국방, 항공, 철도, 금융 등을 포함하는 실시간 시스템은 여러 개의 컴퓨터가 다수의 장소에서 서로의 데이터 교환을 통한 협동 작업으로 여러 가지 기능 및 업무를 수행한다. 이는 마치 멀티 프로세서를 가진 컴퓨터같이 생각할 수 있으며 이와 같은 시스템에 있어서 업무 수행의 효율은 각 프로세서의 계산 능력에 비례함과 동시에 각 노드간의 데이터 전송 능력에 비례한다고 할 수 있다. 이와 같은 실시간 시스템이 올바르게 동작하기 위해서는 한정된 시간 내에 일정한 양의 데이터의 전달을 확정적으로 보장해 줄 수 있는 네트워크를 필요로 하는데 이를 실시간 네트워크(Real time network)라고 한다. 현대의 분산제어 시스템에 있어서 확정적인 시간 내의 데이터 전달은 전체 제어 시스템의 응용 특성에 중요한 요인이 된다. 본 논문은 한국형 고속 전철의 시제차(Prototype train)에 적용된 국제 표준 실시간 네트워크인 열차 통신 네트워크(Train Communication Network)에 관련한 내용이다. 실시간 네트워크는 실시간성을 보장하기 위해서 상호 교환될 데이터가 필요에 따라(온라인 상에서) 변경되는 것이 아니라 오프라인 디자인의 결과로 미리 결정되어진다. 즉 통신장치 사이에 전달되는 네트워크 데이터는 미리 설계된 네트워크 테이블을 기초로 정해진 시간에, 정해진 데이터가, 정해진 방식으로 전달되어진다. 본 논문에서는 실시간 네트워크의 오프라인 설계를 하기 위한 도구로서 개발되어진 네트워크 데이터 테이블 작성 프로그램에 대해서 설명한다.

초의 개발된 시제차는 그림 1에서 볼 수 있듯이 전·후방에 위치하는 2량의 동력차와 이와 각각 인접한 2량의 동력 객차, 그리고 가운데에 위치한 3량의 객차를 더해 총 7량의 차량으로 구성된다. 차세대를 위한 고속 전철로서 속도 향상 및 안정성을 위해 다양한 특징과 기능을 가지고 있는데 그중 다수 온보드 제어기들의 분산화와 네트워크를 통한 제어 및 진단의 실현을 특징적인 예로 들 수 있다. 한국형 고속 전철에 사용된 열차 통신 네트워크(TCN)는 철도 산업에 특화된 네트워크로 약 10년간의 표준화 과정을 거쳐서 1999년 마침내 국제 표준 (IEC61375, Electric Railway Equipment - Train Communication Network)으로 확정 되었다.

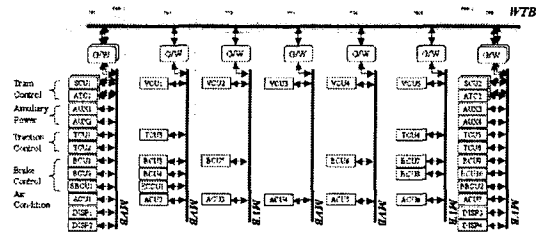


그림 1 한국형 고속 전철 시제차의 제어 장치와 네트워크 구성

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 각각의 변속들은 미리 정해진 일정에 따라서 버스에 브로드캐스트되어지므로 실 시간성을 확보할 수 있다. 이외에도 WTB 노드의 초기화 기능인 Inauguration, 전송 매체(라인)의 이중화, 마스터권의 이양, 단락 회로 보호, Anti-Jabbing 등의 Fault Tolerant 기능, 통신 접점의 부식 방지를 위한 Fritting 기능 등 철도산업에 적합한 특징적인 기능 등을 가지고 있다.

2. TCN 데이터 테이블 설계 프로그램

TCN 데이터 테이블 설계 프로그램은 단일 폼(Form)으로 구성된 마이크로소프트 윈도 프로그램이다. 아래 그림에서 주 화면을 볼 수 있다. 폼은 크게 데이터 테이블의 설계자가 명령을 입력하기 위한 위쪽부분의 컴보 박스, 입력 박스, 그리고 각종 버튼 등의 컨트롤로 구성된 상부 와 데이터 테이블을 보여주기 위한 그리드 컨트롤의 하부로 나눌 수 있다. 본 설계 프로그램은 TCN의 설계자가 편리하게 각 장치에 대한 정보 및 네트워크 데이터의 정보를 원하는 대로 선택(Select)하여, 필터링(Filtering)하고 소팅(Sorting)하고 오더링(Ordering)할 수 있는 도구로 네트워크의 설계자는 물론, 네트워크의 주 사용자인 각 장치의 프로그래머에 많

1. 서 론

고속전철의 시제차량용 네트워크 데이터 테이블은 제어사양서(CSS)에서 추출된 네트워크를 통해서 전달되는 신호들로 구성되어 있다. 최초로 만들어진 테이블은 한 개의 Microsoft Excel® 파일에 정리되어 있으며, 이 파일이 각 네트워크 장치에 쓰일 네트워크 데이터 테이블을 만드는 기초가 된다. 이 파일은 네트워크 데이터 테이블 디자인에 필요한 모든 사항들을 포함하고 있으며, 네트워크로 전달되는 신호들을 일목요연하게 볼 수 있다. 실시간 네트워크의 설계를 위해서는 이 테이블의 내용을 추가, 삭제, 수정은 물론 테이블 내의 데이터를 정리, 선택, 분석 등을 용이하게 할 수 있는 도구를 필요로 한다. TCN 데이터 테이블 설계 프로그램은 이런 목적으로 작성되었으며 전체 네트워크 시스템의 설계자 및 각 장치의 TCN 응용 프로그램 작성자를 보조하여 한국형 고속 전철의 네트워크 시스템 개발을 원활히 한다.

1.1 열차 통신 네트워크(TCN)와 한국형 고속전철

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. 상업운전에서 KTX의 운행 편성은 11 또는 20 량의 열차로 구성될 예정이지만, 최

은 도움을 준다. 그 외에도 TCN 네트워크 디자인에 필수적인 네트워크 각 세그먼트별 부하 분석 (Workload analysis) 및 각 네트워크 신호 데이터 별로 장치간의 전달지연 분석 (Transmission Delay Analysis) 기능도 가지고 있다.

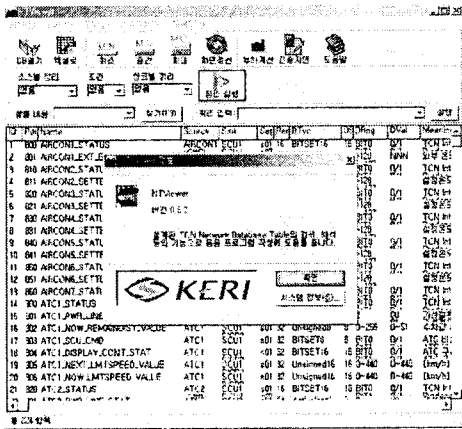


그림 2 TCN 네트워크 테이블 설계 프로그램

2.1 기본 기능

가장 기본적인 기능으로 데이터 입력, 수정 및 삭제 기능이 있다. 초기에 제어사양서(CSS)에서 추출한 데이터로 데이터 테이블을 입력하여야 하는데, 입력하여야 하는 항목은 다음과 같다.

- ID 데이터베이스 인덱스
- Port MVB Process Data의 포트 번호
- Signal Name 신호 이름
- Source MVB Source 장치
- Sink MVB Sink 장치
- Segment 신호의 해당 MVB 세그먼트
- Period 전송 주기
- Data Type 신호의 종류
- Data Size 신호의 크기
- Bit / Range 비트 값/ 신호의 범위
- Value 실제 값
- Meaning 비트 정의/값의 내용
- Purpose 목적, 내용 설명
- CSS 신호의 해당 제어 사양서(CSS) 목적

다음의 주요 기본 기능으로 데이터 추출 기능이 있다. 데이터 입력이 완료된 후 네트워크의 설계자는 각 장치의 송 수신을 점검하거나, MVB 세그먼트 별로 데이터 분류, 주기 별로 데이터 분류 등의 작업을 할 필요가 있다. 이때 설계 프로그램은 SQL 쿼리 입력이나, 데이터 추출용 기능 막대를 이용하여 여러 가지의 데이터 추출 기능을 수행할 수 있다. 또한, 각 네트워크 장치를 프로세서도 자신이 전송할 데이터와 수신할 데이터를 별도로 분리한 테이블을 필요로 하는데, 이 경우 데이터 추출 기능을 이용하여 간단히 필요 데이터만 추출해 낼 수 있다. 이 과정에서 데이터 테이블 설계 프로그램은 특정 문자열의 찾기(검색) 기능이나, 항목별 정렬기능, 그리고 데이터의 크기 조절 기능등을 통해서 사용자의 편의를 극대화 해준다.

다수의 온보드 제어기를 프로그램하는 많은 제작자를 위해서 설계 프로그램은 사용자의 필요에 따라 정리된 테이블 데이터를 자신의 그리드에 표시하는 것 외에 일반 사용자들한테 익숙한 스프레드 시트인 엑셀로 전송하여 출력 및 정리를 더욱 편리하게 하는 기능도 가지고

있다. 아래 그림은 각 장치의 소스 및 싱크별로 정리한 엑셀 워크시트의 그림이다.

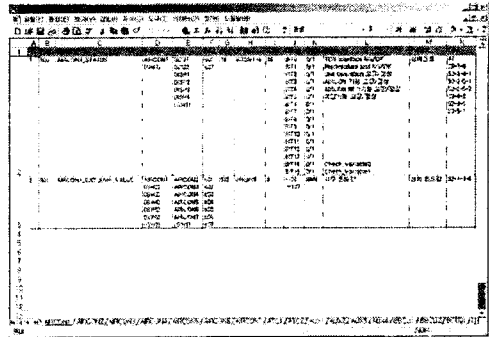


그림 3 엑셀로 출력된 네트워크 데이터 테이블

2.2 네트워크 부하분석

네트워크의 설계 시에 전송될 네트워크 데이터의 종류와 크기 등이 Off-Line 방식으로 결정되어지는 실시간 통신 네트워크에서는 네트워크의 설계과정에서 네트워크에 인가될 전체 부하량의 예측이 중요한 설계 조건이 된다. TCN의 경우에도 설계 과정에서 네트워크의 부하량의 계산이 중요한 요소가 되는데, TCN 설계 프로그램에서는 네트워크 부하 계산 알고리즘 및 그래픽 분석 차트를 제공하여 네트워크 설계자를 도와준다. TCN에 있어서 주기적인 데이터의 전송은 프로세스 데이터 전송을 통해서 이루어지는데 이때, 정보 전송을 위한 기본단위는 하나의 마스터 프레임과 그에 응답하는 슬레이브 프레임이다.

아래 그림에서 한 데이터의 전송 단위인 마스터 프레임과 그에 따르는 슬레이브 프레임의 구조를 볼 수 있다. 마스터 프레임은 SB(Start Bit), MSD (Master_Start_Delimiter), MFD (Master_Frame_Data), CS (Check_Sequence)의 총 33비트로 구성되어 있다. 슬레이브 프레임은 SB, SSD (Slave_Start_Delimiter), SFD (Slave_Frame_Data)로 구성되어 있으며, SFD의 크기에 따라서 최소 33비트에서 최대 297비트의 크기를 가진다. 마스터 프레임이 전송된 후 그에 해당되는 슬레이브 프레임이 전송되기 시작할 때까지의 시간을 T_{ms} 로 부르며, 슬레이브 프레임이 전송이 끝난 뒤 그 다음 마스터 프레임이 전송되어지기까지의 시간을 T_{sm} 이라 한다.

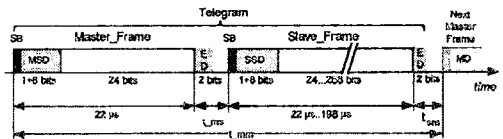


그림 4 마스터 및 슬레이브 프레임 텔레그램

네트워크의 부하 계산은 비 주기적으로 전송되는 이벤트 데이터나 관리 데이터의 부하량을 계산하는 것이 아니라, 주기적으로 전송되어지는 주기 데이터의 부하량을 계산하는 것이다. TCN 네트워크에서 주기적으로 전송되는 데이터는 T_{bp} 의 2^n ($n=0\sim 10$)의 개별 주기 (Individual Period)마다 전송되어진다. 각 개별 주기 ($T_{bp} \times 1, T_{bp} \times 2, T_{bp} \times 4, \dots, T_{bp} \times 1024$) 별로 네트워크 데이터들이 전송되는 마스터 프레임과 슬레이브 프레임들이 차지하는 시간의 합에 대해서 각 주기의 Periodic Phase의 시간 총합의 비율이 각 개별 주기에 전송되어지는 네트워크 데이터의 % 부하량이라 할 수 있다. 네트워크의 총 부하는 마찬가지로

최대의 개별 주기인 T_bp×1024를 주어진 총 시간으로 했을 때, 각각 개별 주기 데이터의 마스터 프레임 및 슬레이브 프레임이 점유하는 시간들의 총 합을 합산하여 비율을 계산하면 계산 가능하다.

아래 그림에서 G7 고속 전철(KHST)의 시제차에 사용된 데이터베이스를 바탕으로 하여 계산한 결과를 나타낸다. 각 차량마다 하나의 MVB 세그먼트를 구성하므로 총 7개의 세그먼트에 대해 각각의 네트워크 부하를 계산할 수 있다. 그림은 TP1(1번 동력차)의 각 개별 주기의 네트워크 부하 및 총 부하를 계산하여 막대그래프로 도식화해서 표시한 결과이다.

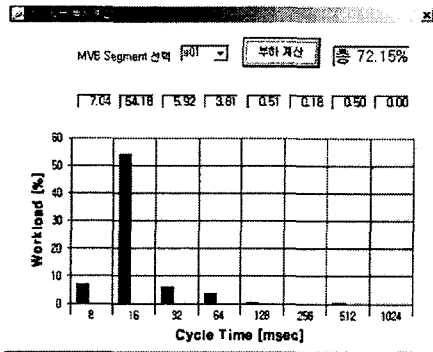


그림 5 네트워크 부하 계산 결과

2.2 네트워크 신호의 전달지연 해석

TCN 네트워크는 2단계의 계층을 가지고 있는 네트워크로서 데이터의 전송에 있어서 데이터 전송 장치와 수신 장치가 같은 MVB 세그먼트에 존재할 경우에는 전송 개별 주기마다 데이터가 전송되므로 데이터의 전송 지연은 각 개별 주기에 해당한다. 그러나, 송신 및 수신 장치가 다른 MVB 세그먼트에 존재할 경우에는 WTB 네트워크를 통과하는 절차를 거쳐야 하므로 각 단계에서 경과되는 시간을 포함한 총 전달지연 시간을 계산하여 표시해줄 필요가 있다. WTB를 통과하여 전송되는 신호는 다음 그림과 같은 경로를 거쳐서 전송된다. 여기서 ①, ⑤는 MVB 데이터 전송 주기만큼의 지연, ②, ④는 게이트웨이 전송 지연, ③은 WTB 전송 지연이다. MVB 세그먼트에 있어서의 최소 전송 지연 시간은 마스터 프레임 및 슬레이브 프레임 전송에 걸리는 시간으로서 포트 데이터의 크기에 따라서 수십~수백 마이크로초 정도이고, 최대 전송 시간 지연은 각 포트 데이터의 전송 주기(1~1024 msec)에 해당한다. 게이트웨이에 의한 전송 지연 시간은 게이트웨이가 MVB의 프로세스 데이터를 WTB의 프로세스 데이터로 전송(또는 반대 방향으로의 행위)하는 역할을 수행하는 프로세스 데이터 마셜링 프로세스의 실행 주기에 일치한다. 즉 그림에서 ②번의 시간 지연은 MVB의 트래픽 메모리에 저장된 특정 포트의 프로세스 데이터를 WTB의 트래픽 메모리에 복사하는데 걸리는 시간이다. ③의 WTB 전송 지연 시간은 MVB에서의 경우와 마찬가지로 최소 전송지연은 WTB의 마스터 프레임과 WTB 슬레이브 프레임 전송 시간을 합친 시간이고, 최대 전송 지연은 설치된 WTB 노드(게이트웨이)의 개수에 따른 WTB의 기본 전송 주기 (25 msec)의 배수 값이다. WTB 노드의 마스터가 최대 전송 지연으로 계산할 수 있는 마스터 프레임을 전송한 후 다음 마스터 프레임을 전송할 때까지의 최대 시간 지연 값은 최악의 경우 값으로 설정된 타임 아웃 계산 값에서 볼 수 있는데, WTB의 최대 포트 비트와 최악의 경우의 Bit Stuffing 값, 최대 매체 전달지연 값, 최대 슬레이브 반응 시간 등을 고려한 마스터 프레임 타임아웃 값은 1820 usec로 WTB의 기본 전송주기인

25 msec의 60%에 해당하는 주기 데이터 전송 구간(Periodic Phase)인 15 msec 내에서 최소 8 번의 WTB 마스터 및 슬레이브 프레임의 송수신이 가능하다. 그러므로 시제차와 같이 WTB의 노드가 7인 경우에 있어서는 WTB의 전송지연 시간은 최대 25 msec이다.

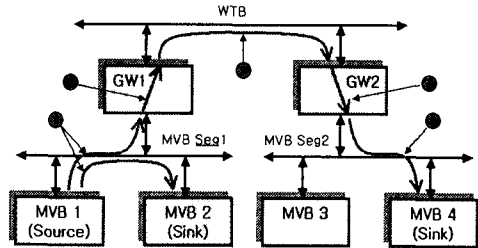


그림 6 TCN 신호의 전달 흐름도

이와 같은 방법으로 TCN설계 프로그램은 장치사이의 전송지연 시간을 계산하여 다음과 같은 대화상자에 표시하여 준다. 그림은 보조 전원장치 제어기 1번의 상태 정보를 나타내주는 포트로 각 제어 장치에 전송될 때까지의 최대 전송 지연 시간에 대한 정보를 시각적으로 표시해 준다.

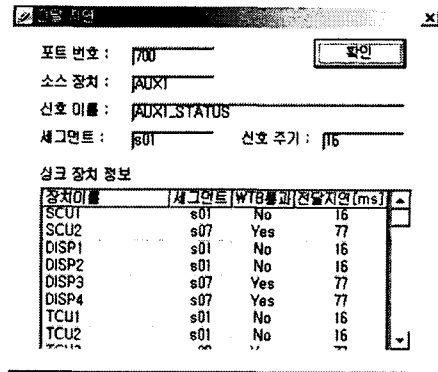


그림 7 전달 지연 계산 결과

3. 결 론

본 논문에서는 한국형 고속 전철의 시제차에 적용된 기본 네트워크인 TCN의 실시간성을 고려한 네트워크 데이터 테이블 설계 프로그램의 기능에 대해서 설명하였다. 실 시간성을 잘 구현하기 위해서 TCN은 Off-Line에서의 정밀한 설계절차를 거쳐야 한다. 데스크톱 데이터베이스와 DB 액세스 프로그램으로 전체 TCN 네트워크를 비교적 간단하게 설계할 수 있다.

[참고 문헌]

[1] IEC 61375-1 Electric Railway Equipment Train Bus Part 1 : Train Communication Network, 1999
 [2] Hubert Kirmann et al, "The IEC Train Communication Network", 16th Conference on Transportation Systems, KoREMA, Split/Ancona, November, 1996
 [3] 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