

스마트 열차 분리결합을 위한 IEC-61375 TCN기반 가변 네트워크 구성 Configuration of Variable Network Topology for Train Sequence Coupling based on IEC-61375 TCN

김준교*, 박재현*†, 황현철**

Joonkyo Kim*, Jaehyun Park*†, Hyeon-Chyeol Hwang**

Abstract As train technology evolves, train can be dynamically composed according to passenger demand. And for composing train, coupling method of multiple trains is widely used today. But when coupling procedure is launched, the configuration of train network is modified together. So, to increase efficiency of coupling, train network re-configuration should be done automatically and completed as fast as possible. In this paper, train network re-configuration method is proposed for train network variation from coupling. And proposed method is based on IEC-61375 standard.

Keywords : Ethernet train backbone, Train communication network, IEC-61375, Sequence coupling

초 록 철도산업의 고도화에 따라 철도차량 편성은 승객 수요 등에 따라 유연하게 편성되고 있다. 이를 위하여 하나의 기술적 대안으로 열차의 중련편성이 활용되고 있다. 중련편성의 경우 편성의 구성을 변경하면 열차제어를 위한 네트워크의 구성이 변경되므로, 이를 효과적으로 진행하여, 편성의 변경에 따른 지연시간을 최소화하는 것이 필요하다. 본 논문은 중련편성을 포함한 열차의 구성이 변경되는 경우 열차의 분리 및 결합에 따른 네트워크의 구성을 가변적으로 변경함으로써 연속적인 열차제어를 지원하기 위한 가변 네트워크 구성에 대한 방법을 설명한다. 특히 제안된 내용은 국제 표준인 IEC-61375 TCN 규격에 기반을 둬으로써, 향후 국제 표준을 준수하는 네트워크 기술 개발에 응용될 수 있다.

주요어 : 열차제어, 중련편성, 가변 네트워크, IEC-61375

1. 서 론

철도 산업의 고도화에 따라서 승객의 수요에 따라 열차를 유연하게 편성을 하고 있다. 이를 위한 방법으로 열차의 중련편성이 활용되고 있는데, 중련편성을 통하여 열차의 구성을 변경하는 경우 열차 제어를 위한 네트워크 구성이 같이 변경된다. 중련편성은 수요에 따라서 열차의 운영을 효율적으로 관리하기 위하여 활용되고 있기 때문에, 이로 인한 네트워크 구성의 변경도 신속하고 효율적으로 진행되어야 한다.

근래에 개발되는 전동 열차의 제어 시스템은 과거 기계적인 제어 시스템에서 탈피하여 컴

† 교신저자: 인하대학교 IT공과대학 정보통신공학과(jhyun@inha.ac.kr)

* 인하대학교 IT공과대학 정보통신공학과

** 한국 철도기술연구원 신교통연구본부

퓨터 기반의 제어 시스템으로 구현이 되고 있으며, 이에 따라서 International Electro-technical Commission(IEC)에서 제정한 국제 표준방식인 Train Communication Network(TCN, IEC-61375)을 제어 네트워크로 사용하고 있다[1,2]. 초기의 TCN은 Wired Train Bus(WTB)와 Multifunction Vehicle Bus(MVB)로 구성된 시스템을 기반으로 하고 있는데, 최근 열차 내에서 고속 데이터에 대한 수요가 높아지면서 이더넷을 기반으로 하여 단일 네트워크를 구성하는 국제표준의 제정이 추진되고 있다[3, 4, 5].

본 논문에서는 이더넷을 기반으로 하는 Ethernet Train Bus (ETB)를 이용하여 열차의 중련편성에 따른 가변 네트워크 구성 방식을 설명하고, 가변 네트워크 구성 시, 주소 할당 방법에 대하여 고찰한다[3].

2. 본 론

2.1 Ethernet Train Backbone 개요

Ethernet Train Backbone(ETB)는 열차 내에서 사용하는 통신 방식으로써, 이더넷을 기반으로 하고 있다. ETB의 네트워크 구성은 Fig 1과 같다. 하나 이상의 열차가 결합된 형태를 Consist로 정의하고 있으며, 하나 이상의 Consist가 결합하여 Closed Train을 구성한다. 열차 한 칸에는 하나 이상의 Ethernet Train Bus Node(ETBN)가 존재 하고, ETBN의 하위에 Consist Network(CN)가 존재하여 End Device(ED)가 연결되어 있다. 각각의 ETBN이 연결되어 하나의 네트워크를 구성하기 위해서는 모든 노드가 동일한 CSTUID[6]를 가져야 하며, ETBN들은 최상위(top) 노드부터 하위(bottom) 노드까지 열차의 방향을 인지한다. ETB에서는 최상위 노드 방향을 DIR1, 하위 노드 방향을 DIR2로 정의하고 있다. 각각의 ETBN들은 스위치 형태로 포트를 제어할 수 있으며, ETBN이 동작하지 않는 경우를 대비하여 우회가능하도록 구성한다.

2.2 ETB Train Inauguration

중련편성의 변경에 따른 동적인 네트워크 구성을 위하여 새로운 열차가 연결 시 새로운 ETBN을 인지하고 IP 주소를 할당하는 과정이 필요한데, 이를 Inauguration 이라고 한다. 이 과정은 열차의 물리적인 특성이 선형적인 형태를 지니고 있기 때문에, ETB 네트워크 구성

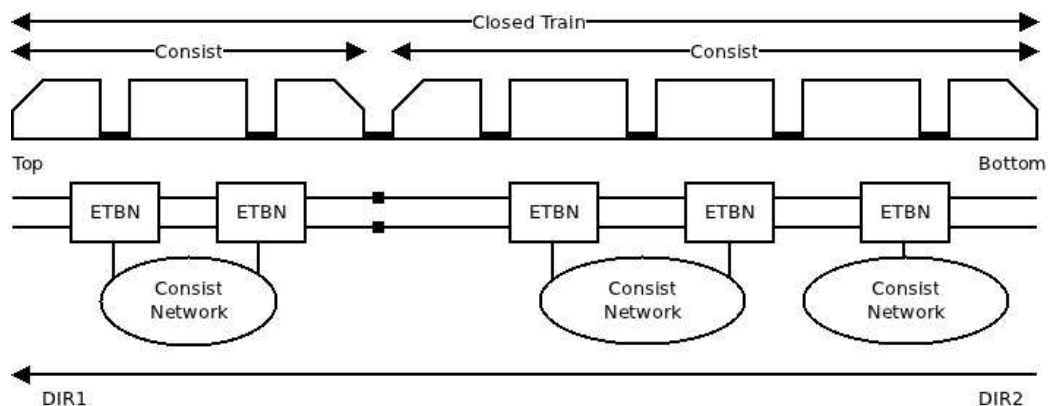


Fig. 1 ETB Network Example

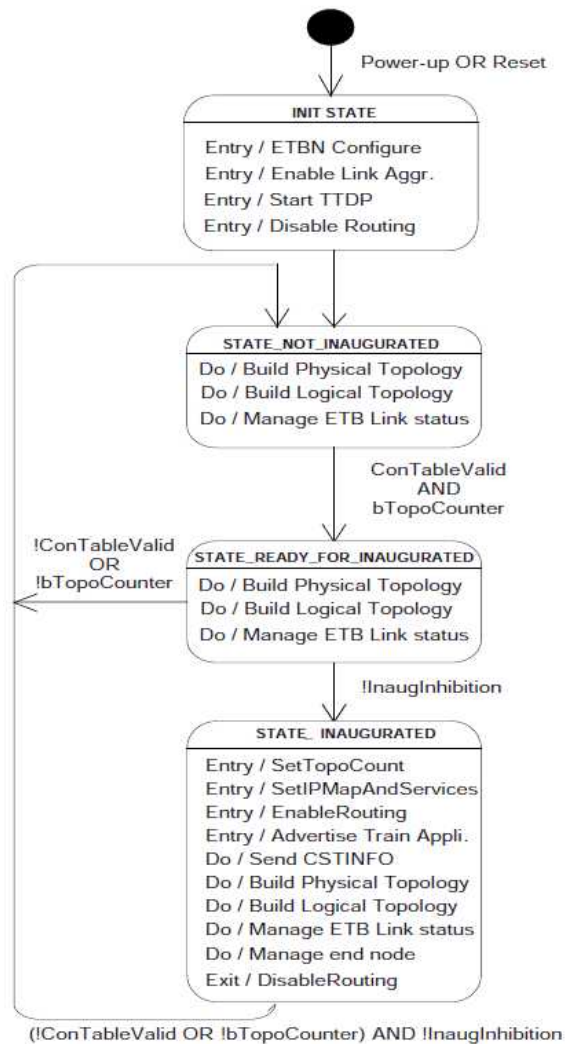


Fig. 2 Inauguration sequence[3]

또한 선형 토폴로지로 가정하여 진행을 한다.

새로운 ETBN이 연결 되어 토폴로지를 재형성하는 과정은 Fig 2와 같다. 기본적으로 ETB에 있는 ETBN들은 TOPOLOGY 프레임을 주기적으로 멀티캐스팅 한다. 이 프레임은 표준에 따라서 01-80-C2-00-00-10 MAC 주소로 전송이 되며, 이 프레임을 통해서 새로운 ETBN이 연결되었음을 확인하고 네트워크를 재구성한다. Inauguration 과정은 최종적으로 각각의 ETBN에게 동적으로 IP 주소를 할당하여 이더넷 기반의 통신을 가능하게 하는 것에 있으며, IP 주소는 열차 내에서 물리적인 ETBN의 위치에 따라서 고유한 값을 가진다. IP 주소 할당 과정에서 각각의 ETBN들은 주기적으로 송수신되는 TOPOLOGY 프레임을 통해서 모든 ETBN들의 위치를 파악하고 파악된 위치를 기반으로 ID를 할당한다.

2.3 Inauguration을 위한 데이터 구성

모든 ETBN 들은 주기적으로 TOPOLOGY 프레임을 송수신하고, 이를 통해서 서로간의

Table 1 Symbols of data structure for inauguration

Data structure	Symbol
Connectivity Vector	CONVEC
ETBN Vector	ETBNVEC
Connectivity Table	CONTAB
Train Network Directory	TNDIR

위치를 계산하기 위하여 Table 1에 정의된 4개의 데이터 구조를 유지한다.

CONVEC은 ETBN 양쪽에 물리적으로 바로 연결되어 있는 ETBN의 MAC 주소를 가지고 있다. DIR1, DIR2 방향과 본인의 MAC 주소 세가지를 포함하고 있으며, 이를 통해서 총 3개의 ETBN의 상대적인 위치를 확정할 수 있다. ETBNVEC은 모든 ETBN의 MAC 주소를 DIR1과 DIR2 방향으로 나누어서 저장한다. 이는 TOPOLOGY 프레임이 수신되면, 수신된 포트를 확인하여 어느 방향에서 전송된 프레임인지를 파악하여 MAC 주소를 분류 한다.

CONTAB은 물리적인 토폴로지 정보를 담고 있으며, ETB에 존재하는 모든 ETBN의 MAC 주소를 저장하고 있다. 다만 ETBN의 위치가 최상위 노드부터 하위 노드까지 정렬된 형태로 저장이 된다. TNDIR 는 논리적인 토폴로지 정보를 담고 있으며, ETBN 하위에 존재하는 CN의 Subnet ID와 ETBN ID를 저장하고 있다.

각각의 ETBN들은 데이터 구조를 유지하고 갱신할 뿐만 아니라 CONTAB과 TNDIR의 내용을 기반으로 하여 CRC32를 계산하는데, 이는 각각 ConTableCrc32 와 TopoCounter로 정의한다. 이 값은 TOPOLOGY 프레임에 포함되는 필드로써 ETBN에서 TOPOLOGY 프레임을 전송 시, 본인의 CONTAB과 TNDIR의 내용을 기반으로 계산하여 프레임에 적용한다.

2.4 Topology 재구성

Inauguration 과정은 2.3절에서 설명된 데이터 구조들을 통해서 수행된다. 새로운 ETBN이 ETB에 연결이 되면 기존의 ETBN 노드들처럼 TOPOLOGY 프레임을 전송한다. 이 때, 새롭게 연결된 ETBN의 경우 CONTAB과 TNDIR의 내용이 다른 ETBN 들과 상이하기 때문에 ConTableCrc32, TopoCounter 값이 상이하다. 즉, ETB의 모든 ETBN들은 상이한 값을 가지는 TOPOLOGY 프레임이 발견되면 inauguration을 시작한다.

Inauguration이 시작되면 모든 ETBN은 TOPOLOGY 프레임을 수신하여 자신의 CONTAB과 TNDIR를 갱신하게 된다. 위의 두 자료 구조는 물리적으로 연결되어 있는 ETBN의 순서대로 정렬되어 있어야 하기 때문에 외부에서 수신되는 TOPOLOGY 프레임을 통해서 외부의 ETBN 위치들을 파악하여야 한다.

ETBN의 위치를 정렬하기 위하여 각각의 ETBN은 TOPOLOGY 프레임을 전송하기 전에 자신의 ETBNVEC와 CONVEC를 TOPOLOGY 프레임의 Dir1ETBNs, Dir2ETBNs에 각각 기록한다. 또한 현재의 CONTAB과 TNDIR를 통해서 CRC를 생성하여 각각 ConTableCrc32와 TopoCounter 필드에 기록한 후에 프레임을 전송한다. 다른 ETBN으로부터 TOPOLOGY 프레임을 수신하면 프레임을 전송한 ETBN의 Dir1ETBNs와 Dir2ETBNs를 통해서 상대적인

Table 2 ETBN IP Configuration

IP Type	Format
ETBN	00001010.1bb00000.00000000.v0ttttt/18
Subnet	00001010.1bbxssss.sshhhhhh.hhhhhhhh/18

* **b** : backbone id, **s** : subnet id, **h** : host id, **t** : ETBN id

위치를 알 수 있으며, 전송한 ETBN에 물리적으로 연결되어 있는 이웃한 ETBN을 프레임을 통해서 알 수 있기 때문에 모든 ETBN의 위치를 물리적인 순서대로 정렬하는 것이 가능하다.

모든 ETBN의 CONTAB과 TNDIR가 동일하게 정렬된 형태로 구성이 되면, ETB 내에서 송수신되는 모든 TOPOLOGY 프레임의 ConTableCrc32와 TopoCounter 값이 동일하게 유지된다. 이는 ETBN의 위치가 모두 정상적으로 파악되었다는 것을 의미하기 때문에, 모든 ETBN은 자신과 하위의 네트워크에 ID를 할당한다.

ID는 ETBN ID와 Subnet ID 두 가지가 존재하며 CONTAB과 TNDIR에 정렬된 순서대로 할당한다. ETBN ID는 최상위 노드를 1로 기준하여 하위 노드까지 1씩 증가하여 설정한다. 이와 유사하게 Subnet ID 역시 TNDIR에 정렬된 순서로 Subnet ID를 할당한다.

2.5 ETBN에 IP 주소 할당

토폴로지 구성을 위한 마지막 과정으로, 이더넷 통신을 위하여 ETBN에 IP를 할당한다. ETB에서 IP의 할당은 10.0.0.0/8 주소 영역을 이용하며, ETBN ID와 Subnet ID를 이용하여 IP 주소를 구성한다. 두 개의 ID를 이용하여 IP를 구성하는 방식은 Table 2과 같다.

Table 2의 b 필드의 경우 ETB의 형식을 정의하는데, ETB를 Train Control Management System(TCMS)로 사용할 경우 0으로 고정하여 사용한다. t 필드와 s 필드는 각각 ETBN ID와 Subnet ID를 의미하며, 만약 ETBN ID가 1이고, Subnet ID 1번에 ED가 연결되어 있다면, ETBN은 10.128.0.1/18의 주소를 가지며, ED는 10.128.64.xxx/18 영역으로 IP 주소를 할당 받게 된다. ETBN ID와 Subnet ID는 CONTAB과 TNDIR의 정렬된 데이터를 기반으로 하여 할당되기 때문에, 모든 IP 주소는 고유한 값을 가진다. 이와 같이 모든 ETBN과 Subnet에 IP가 할당되면, inauguration 과정이 종료된다.

3. 결론

철도 산업이 점차 고도화 되고 열차 수요에 따른 유연한 편성을 위해서 중련편성이 활용되고 있다. 하지만 중련편성을 할 경우 열차 간 네트워크 구성이 변화하기 때문에 이를 재구성하는 과정이 필요하였다. 때문에 네트워크의 재구성을 자동화 하고 지연시간을 줄이는 기술이 중련편성으로 인한 효율을 증대 시키기 위하여 필요하다.

본 논문에서는 이더넷 기반의 열차 네트워크 방식인 ETB를 기반으로 하여 중련편성 시 네트워크가 가변적으로 변화할 수 있는 시스템을 제안하였다. 제안하고 있는 시스템은 이더넷을 기반으로 하는 열차 네트워크를 사용함으로써 범용성과 고속 데이터에 대한 수요를 만

족하고 있으며, 중련편성으로 인한 가변 네트워크 구성이 가능해짐으로써 열차 운용 효율의 향상을 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] H. Kirmann and P. A. Zuber (1996) IEC/IEEE Train Communication Network.
- [2] IEC 61375-1 Standard (1999) 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.
- [3] IEC 61375-2-5 Ed.1 Standard (2012) Electronic railway equipment – Train backbone – Part 2-5: Ethernet Train Backbone
- [4] Manfred Schmitz (2010) Ethernet as a Train Bus, MEM Mikro Elektronik GmbH, <http://www.mem.de>.
- [5] Keiichi Kamata, Hideyuki Takahashi (2008) T-Ethernet: The next international standard candidate for train communication network, Toshiba Corporation, <http://www.uic.org>
- [6] IETF, A Universally Unique Identifier (UUID) URN Namespace, RFC 4122, 2005