

## 철도차량 수를 유연하게 구성할 수 있는 통신시스템 구현

연준상\*·양 오†

\*청주대학교 전자공학과, †청주대학교 반도체공학과

### Implementation of Communication to Flexibly Configure the Number of Railway Cars

Jun Sang Yeon\* and Oh Yang†

\*Electronics Engineering of Cheongju University, †Semiconductor Engineering of Cheongju University

#### ABSTRACT

This paper presents the implementation for a network structure of railway cars using a point to point communication. Most of network's representative specifications for a train are the FIP (Field Bus), MVB (Multifunction Vehicle Bus), CAN and WTB (Wire Train Bus) which is used by ALSOM, SIEMENS and BOMBARDIER as major in this field. These networks in a physical layer use a multi-drop method, connected from 1<sup>st</sup> car to n<sup>th</sup> car of a train through a cable without any extra services such as an electric part, amplifier. However waveforms which is passed through a long cable in the multi-drop are distorted by a capacitance or resistance of the cable or environments. Also since using a cable connected directly from 1<sup>st</sup> car to n<sup>th</sup> car, if over two trains make double head, it isn't easy to distinguish ID for each railway cars. So by using the point to point network per each car, it is able to reduce a distortion. Also since reducing distortion, this communication speed can be been higher and transmit and receive any packets more stably. Using proposed token in a packet, this can make ID per each railway car automatically. Finally experimental results show the good performance and effectiveness of the proposed method.

**Key Words** : IEC61375, FPGA, HDLC(High-level Data link control), MVB (Multifunction Vehicle Bus), WTB (Wire Train Bus), TCN(Train communication network)

#### 1. 서 론

근래에 제작되는 전동차들은 단순히 차량에 설치된 주요장치의 고장을 표시 및 기록하는 모니터 기능만을 수행하는 차상정보장치(TIS)가 아닌 더 많은 제어기능을 포함한 종합제어장치(TCMS)가 도입되고 있다. 열차 종합장치는 추진 및 제동, 보조 전원장치, 신호장치, 승객편의 장치를 포함한 열차의 종합적인 제어 기능을 담당한다.

최근에는 기관사가 없는 무인 전동차의 개발로 더욱 열차종합제어장치의 중요도가 높아지고 있다. 이러한 열

차종합제어장치의 기본이 되는 통신방식은 철도차량 통신 네트워크 시스템(Train communication network: TCN)이다[1]. TCN은 과거 철도 메이저 제조사인 지멘스나 알스톰등이 각각의 철도용 네트워크 방식은 CAN및 FIP(Field Bus) BUS를사용했지만 이 후 유럽 및 몇몇 철도 관련 제조회사 위주로 열차통신 표준 사양인 IEC61375 등의 국제 표준으로 사용하도록 제정되었다[2]. 이후 IEC61375-1인 MVB(Multifunction Vehicle Bus) 통신, IEC61375-4 WTB(Wire Train Bus) 통신 네트워크 등의 통신규약이 국제 표준으로 사용되고 있다[3]. 하지만 WTB의 기본 물리층 방식은 멀티드롭(Multi-drop) 방식으로 구성되어 있으며 최대 1Mbps의 속도를 가지도록 프로토콜에 기술되어 있고 HDLC(High-level Data Link Control) 형식인 ISO 3309를 사용하며 하나의 패킷의 최대

†E-mail: ohyang@cju.ac.kr



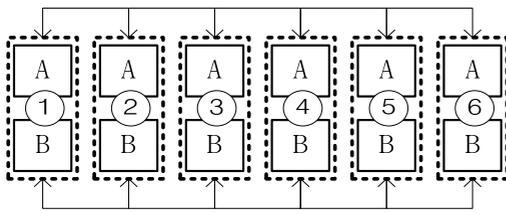


Fig. 3. Existing vehicle wiring diagram.

2.2 제안된 통신

본 논문에서 제안하고자 하는 통신 방식은 고속의 통신방식을 구현하고 WTB에서 제안된 별도의 중단용 스위치 없이 차량들을 연결 하도록 하고 이 물리 층을 기반으로 토큰 패킷을 이용한 네트워크 층을 구현 함으로서 차량의 개수를 자유롭게 할 수 있으며 중련 이라고 불리는 편성간 연결을 보다 유연하게 연결하고 구성할 수 있게 하여 효율적인 차량 운행이 가능할 수 있는 통신 방식을 제안하고자 한다[5].

위의 Fig 3은 기존 한국 전동차량에 장착된 차량간 통신의 개념도이다. 각 네트워크 통신 케이블은 이중화로 되어 있으며 각 각 “A”채널과 “B”채널로 쌍방간 송수신을 하도록 되어 있다. 통신을 흐름을 살펴보면 (1)차량 방향으로 전동차를 진행 시키면 (1)차량부터 데이터를 전송하여 (2), (3) ~ (6)차량이 수신 받을 수 있도록 한다. 하지만 (1)차량부터 전송되는 데이터의 물리적인 전압크기는 처음 출발선상에서와 같이 파형이 비슷한 크기로 전송되지만 (2)차량과 (3)차량을 통과하면 파형의 전압이 점점 줄어들어 최종(6)차량에서는 상당히 전압이 줄어든 파형으로 전달되며 통신 케이블과 차량의 커패시턴스에 따라 파형의 기울기 율(Slew rate)에 많은 영향을 미치게 된다.

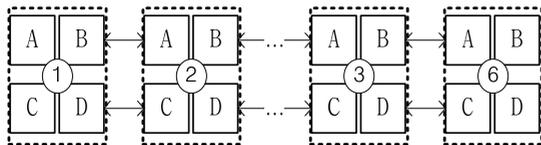


Fig. 4. Proposed communication cable connection.

Fig 4는 기존에 단점인 통신 속도와 거리상 문제가 되는 기울기 율(Slew rate)을 보완할 수 있는 제안된 통신 방식이다.

(1)번 차량에서 데이터가 전송하게 되면 (2)번째 차량에서는 데이터를 수신 후 바로 (3)번 차량으로 전달하게 된다. 하지만 (2)번 차량에서 (3)번 차량으로 (1)번 차량의 데

이터를 전달하기 전에 (2)번 차량의 응답데이터를 (1)번 차량과 (3)번 차량으로 전달 한 후 (1)번 차량에서 수신된 토큰 패킷을 (3)번 차량으로 전달하게 된다[5].

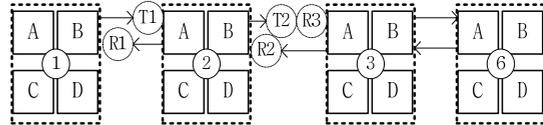


Fig. 5. Proposed algorithm for token passing.

Fig 5는 (T1)을 토큰 패킷으로 설정하고 (R1)과 (R2)는 응답 패킷으로 설정하여 패킷의 흐름도를 그려놓았다.

Fig 5에서 보듯이 (T1) 토큰 패킷을 처음 전송하게 되면 응답 패킷 (R1) 과 (R3) 을 전송하고 다음 (T2) 토큰 패킷을 옆 차량에 전송한다. 다시 옆 차량에서 상태 패킷이 수신되면 이전 차량으로 패킷을 패스하여 전달한다. 이러한 패턴을 반복하면 한 사이클 이동하는 데는 n번째 차량 만큼 반복하면 모든 패킷을 차례대로 송수신 할 수 있다. 여기서 중요한 규칙은 반드시 Fig 5에 나온 순서를 반드시 지켜야 한다. 만약 이 순서를 지키지 않았을 경우는 송신과 수신 패킷들의 신호가 서로 겹치게 되어 통신이 안될 경우가 생기기 때문이다.

Fig 6은 위의 흐름을 이용하기 위해 사용된 패킷 구조로 데이터 링크와 네트워크 층의 패킷의 구조를 설명하고 있다. 목적지와 출발지는 각각 한 바이트로 되어 패킷을 수신 할 때마다 각 차량들은 부여된 번호와 일치하는지 검사하여 해당 차량의 것인지 확인하게 된다. 만약 목적지가 해당 차량의 패킷이라고 하면 수용하고 만약 해당 차량이 아니면 수신 받았던 채널의 반대 방향 차량으로 다시 전달하게 된다[6]. 출발지 주소는 이 패킷이 처음 생성한 곳의 차량을 알기 위해 존재하며 수신 받은 패킷의 출발지 주소를 인식하여 차량의 종류를 분류할 수 있다. 또한 기존 HDLC통신용 패킷의 제어 데이터 영역에는 토큰상태를 사용하였으며, PASS데이터를 추가 시켰다. PASS 데이터는 처음 생성된 패킷에서는 0으로 설정하고 각각의 차량을 지날 때 마다 1씩 증가시켜 이 패킷이 몇 번 차량을 통과해 왔는지 알 수 있다. 이 PASS 번호를 사용하는 이유는 토큰이 포함된 패킷이 네트워크상에 계속해서 존재하는 것을 방지하기 위해 번호를 설정하고 만약 PASS 카운터 값이 전체 차량의 개수보다 많으면 패킷을 제거시켜주도록 한다. 이렇게 제거를 함으로서 혹시 모르는 유령이 된 토큰용 패킷을 사전에 차단시켜 네트워크상에 통신 량을 유연하게 지킬 수 있도록 하였다[7]. 데이터 영역은 16 ~ 507바이트들이 가변 길이로 존재하며 응용(application)층에 해당하는 데이터 들이 존재하게 된다.

목적지 주소(1)	출발지주소(1)	제어 (1)	데이터 (16~507)	데이터 오류검출(2)	PASS 번호 (2)
0xFF : Broadcast 0x00 ~ 0xFE : Uni& Multi cast	0x00~0xFE : Uni& Multi cast	토큰 상태	Application data	CRC16	

Fig. 6. Packet structure used in network.

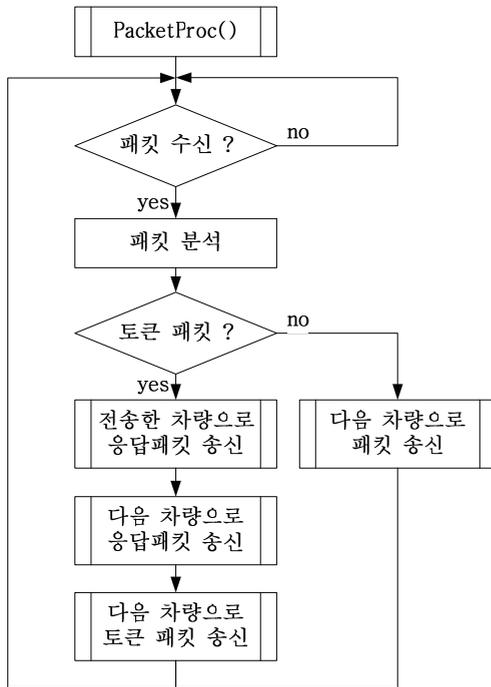


Fig. 7. Flowchart of the proposed token processing.

Fig. 7은 Fig. 5에서 사용하였던 방식의 알고리즘의 흐름도를 표현 하였으며 각 함수마다 각각의 특별한 기능의 프로그램들이 포함되어 있다.

위에서 설명했던 토큰 패킷을 이용한 네트워크의 구성을 설명하였으며 제안된 통신 방식이 가까운 차량마다 연결된 통신 형태로 되어 있어 전압 강하와 왜곡이 상대적으로 적다. Fig. 10, 11은 멀티드롭 방식의 파형인 첫 번째 차량에서 출발 전송된 데이터가 마지막 차량에서 전달받은 파형의 왜곡을 보여준다. 또한 제안된 통신 방식인 열

차량에 연결되어 패킷을 전달하는 전송되는 방식 파형도 함께 측정하여 비교해 보았다. 기존 차량에 사용되고 있는 통신보드를 이용 하였으며 이 보드는 두 가지 통신 방식이 모두 가능하며, 멀티드롭 방식으로 인천1호선 TIS, 일산선 그리고 부산지하철 1, 2호선에 사용되었다. 또한 본 논문에 제안된 알고리즘의 장점을 확인하기 위해 부산 지하철4호선, 온양선 등에는 토큰 패킷을 이용한 전달 방식 이용하여 비교 시험하였다.

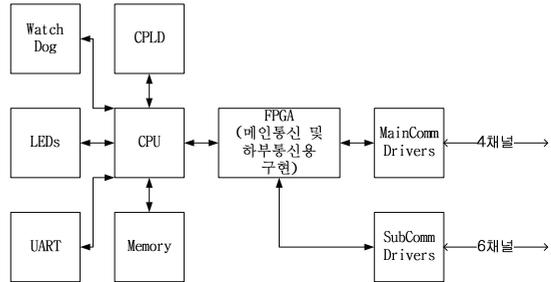


Fig. 8. Block diagram for experiment.

Fig. 8은 멀티드롭 방식과 제안된 통신 방식을 구현할 수 있도록 설계된 보드의 구성도이며 일반 통신 칩을 사용하지 않고 보다 효율적인 네트워크를 구현하기 위해 통신 칩을 직접 FPGA (XC3S1000-5FG320)로 구현 하였다 [8]. 기존에 판매되고 있는 통신 칩을 사용할 경우 패킷을 수신하는 방법이 버퍼의 제한이나 통신방식의 제한으로 다양한 통신방식을 구현하기 어려우며 일부 소프트웨어가 부담하도록 되어있는 기능들을 대부분 하드웨어로 처리하여 보다 빠르고 정확하게 통신 패킷을 송수신 할 수 있도록 하였다[9].

또한 설명된 알고리즘을 구현해 보기 위해 제안된 통신방식에서 이중화 된 네트워크를 구성하기 위해선 최소 4채널의 통신포트가 있어야 하며 고속의 CPU(DSP)인 TI사의 TMS320VC33-120(120MHz)를 이용하여 토큰 패킷을 수신하고 이를 전달하도록 하여 Fig. 5, 7의 알고리즘을 구현 하였다[10].

### 3. 실험 및 결과분석

Fig. 9는 기존에 널리 사용되고 있는 멀티드롭 용으로 전송시 마지막 노드에서 수신된 통신 파형을 오실로스코프로 측정한 파형이다.

케이블길이는 400m이며 파형을 보듯이 긴 거리 통신 케이블 통과하면서 전압강하와 기울기 율(Slew rate)의 변화로 처음 출발한 파형과 다른 왜곡이 발생한 것을 알 수

있다. 이러한 왜곡들이 생긴 파형들은 일상적으로는 통신이 정상적으로 이루어 지지만 외부의 환경의 변화나 영향에 상당히 민감하게 동작하여 원활한 네트워크 구성이 되지 않을 수 있다. 물리 층에서 멀티드롭 용으로 구성된 네트워크는 가장 기본이 되는 물리 층에서 한계가 있을 수 있다.

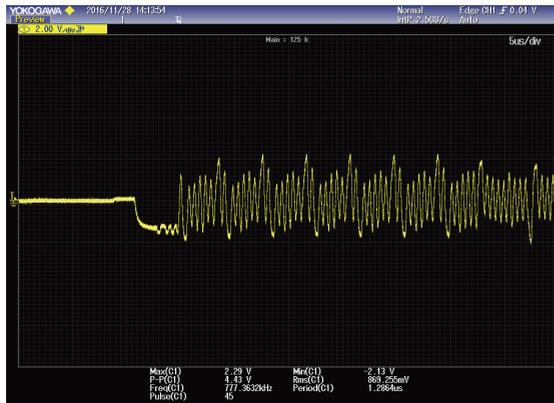


Fig. 9. Received waveform in last vehicle of conventional method.

Fig 10에 측정된 파형은 제안된 통신 방식을 적용하여 차량간 간격이 보다 짧아진 케이블의 사용으로 출발선상의 파형과 비슷한 파형이 수시 측에 전달되는 것을 확인할 수 있다. 본 실험에 사용된 케이블의 길이는 30m이며 측정된 파형에서 보듯이 파형형태가 송신 측에서 보낸 것과 거의 유지되므로 이를 이용하여 한번에 많은 데이터로 구성된 패킷(1024바이트 이상)을 전송하거나 1Mbps 이상의 빠른 속도로 전송할 수 있다.

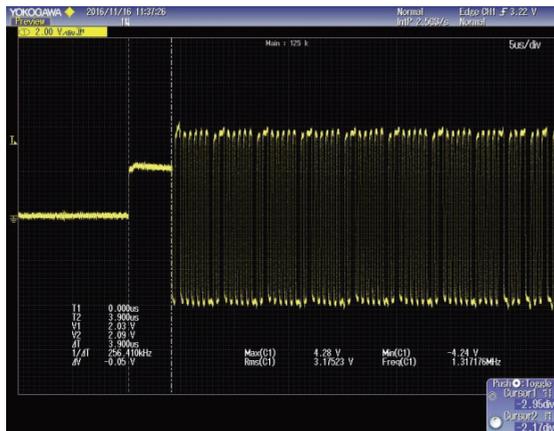


Fig. 10. Received waveform in last vehicle of proposed method.

Fig 11은 Fig 5와 Fig 7에서 설명한 흐름도와 알고리즘을 이용하여 실험한 통신 파형이다. 토큰 패킷인 T1과 T2 그리고 응답 패킷인 R1과 R2의 패킷을 볼 수 있으며 첫 번째 차량에서 T1의 패킷을 전송하면 바로 옆 수신된 차량에서는 이에 해당하는 응답 패킷 R1과 R2를 거의 동시에 응답하고 수신된 T1의 PASS번호를 +1증가 한 후 T2를 생성하여 바로 다음 차량에 전달하도록 한다[11]. 이러한 방식을 계속하여 마지막 차량까지 반복하여 필요한 패킷들을 송수신하여 네트워크가 이루어지며 실제 구현하여 부산지하철 4호선과 온양선 등에 사용 중이며 특히 패킷의 이동이 반복적이며 규칙적이기 때문에 차량을 유동적으로 늘리거나 줄일 수 있도록 하는 중립 방식에 사용하면 원하는 패킷을 차량의 개수와 상관없이 첫 번째 차량부터 마지막 차량까지 유연하게 전달할 수 있음을 실험을 통해 확인 하였다.

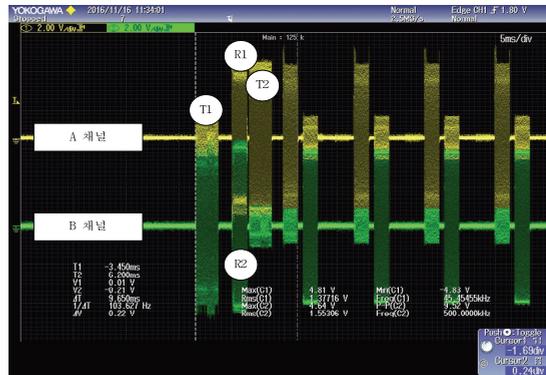


Fig. 11. Packet waveform of proposed method.

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 통신방식은 물리 층에서 차량마다 통신 케이블을 설치해 토큰 패킷을 이용한 패스방식의 네트워크를 구성하도록 하였다. 바로 옆 차량들과 서로 데이터를 송수신할 수 있도록 되어 상대적으로 짧아진 케이블 길이는 파형의 왜곡을 적게 하였으며 그 결과 통신의 속도를 높일 수 있다. 또한 적어진 왜곡을 이용하여 한번에 514바이트 이상의 긴 패킷을 송수신하여 정상적인 통신이 이루어 지는 것을 확인 하였으며 원하는 데이터나 정보들을 한번에 한 패킷을 전달하여 첫 번째 차량과 마지막 차량에 설치된 모니터에서 충분한 정보를 표출하는 것을 확인 하였고 이러한 기능들은 FPGA를 이용해 직접 제작된 통신 칩에서 구현되었다.

제안된 통신방식에 맞게 사용된 패킷전달 알고리즘을 이용하여 규칙적이고 반복적인 패킷을 전달할 수 있으며

이러한 방식으로 편성간 또는 차량간 연결시 특별한 스위치 조작 없이 오로지 토큰 패킷을 이용하여 편성 및 차량의 존재 유무를 확인 할 수 있었다. 또한 이 패킷이 차량을 통과 할 때 마다 차량번호를 증가시켜 마지막 차량에서는 첫 번째부터 연결된 차량의 개수를 알아낼 수 있었다. 이러한 알고리즘을 복잡한 철도차량의 네트워크 시스템에 적용하여 철도차량 수를 유연하게 구성 할 수 있는 장점을 보였고 실제 일부 지하철차량의 통신시스템에 상용화되어 안정적으로 동작하고 있다.

### 참고문헌

1. International Electro technical Commission (IEC), "Chapter 4(Train Communication Network for WTB (Wire Train Bus))", IEC 61375, first edition, pp298-327, 2003.4.
2. J.DE AZEVEDO, "The World FIP Protocol Standard and Specifications", WorldFIP EN50170, pp5-7, 1998.10.
3. International Electro technical Commission (IEC), "Chapter 3(MVB (Multi-function Vehicle Bus))", IEC 61375, first edition, pp213-274, 2003.4.
4. ALSTOM, "FIELDTR User Reference Manual for FIP", WorldFIP EN50170, pp1.1-3.1, 2000.8.
5. Jonathan, "Token Ring Solutions", IBM Redbooks, pp9-18, 2000.
6. ZILOG, "Z80C30/Z85C30 CMOS SCC Serial Communications Controller Product Specification", pp1-14, pp27-39, 2002.
7. SIEMENS, "SAF/SAB82532 Datasheet Enhanced Serial communication Controller for HDLC", pp88-108, 2007.
8. Oh Yang, "A High Speed Processor Design for a Sequence Logic Controller using a FPGA", KIEE, pp.1554-1563, 1999.
9. XILINX, "Spartan-3 FPGA Family: Complete Data Sheet", p47-55, pp107-108, pp128-270, 2013.
10. SungGyu Ok, Oh Yang, "IC design for Multi-channel Asynchronous Communications using a FPGA", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, pp.28-37, 2010. 1.
11. Rhonda Alexis Dirvin and Arthur R. Miller, Motorola, Inc. "MC68824 Token Bus Controller", IEEE 802.4, pp15-25, 1986.

---

접수일: 2016년 12월 9일, 심사일: 2016년 12월 21일,  
 게재확정일: 2016년 12월 21일