고안전성 연산제어 장치의 적용성 연구

신승권*, 조현정**, 황종규**, 조용기***
*한국철도기술연구원 초고속열차연구실
**한국철도기술연구원 열차제어통신연구실
***LG산전(주)
e-mail:skshin@krri.kr.kr

A Study on Application of Arithmetic and Control Unit for High Safety

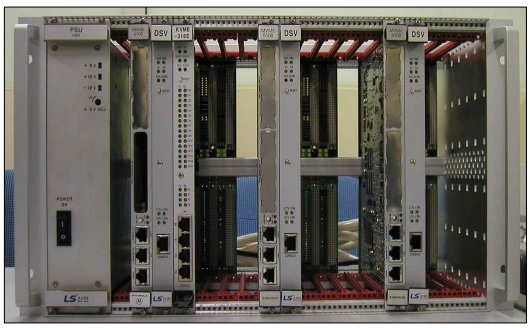
Seung-Kwon Shin*, Hyun-Jeong Cho**, Jong-Kyu Hwang**, Yong-Gee Cho***
*Super-Speed Train Research Department, KRRI
*Train Control & Communication Research Department, KRRI
***LS Industrial Systems.

요 약

본 논문에서는 고안전성 연산제어 장치의 열차제어시스템에 대한 적용성을 평가하여 그 결과를 분석하였다. 고안전성 연산제어 장치의 적용대상으로 열차제어시스템에서 가장 대표적인 지상 ATP 시스템을 선정하였다. 지상 ATP(Automatic Train Protection) 시스템은 다수의 차상 ATP 시스템과 통신하여 각 열차의 위치를 확인하고, 각 열차마다 안전 운행에 필요한 정보이동허가, 제한 속도 등의 열차정보를 전송하는 열차제어시스템의 하나이다. 적용대상 열차제어시스템(지상 ATP)의 고안전성 연산처리 장치의 평가항목으로 입력처리시간, 보팅 성공률, 보팅 용량, 최대 입력처리 개수를 정하였으며, DSV보드 LVDS 전송성능, DSV 메모리 공유 및 보팅성능, 최대 입력처리성능 및 보팅성공률을 시험하여 고안전성 연산처리장치의 적용성을 평가였다.

1. 서 론

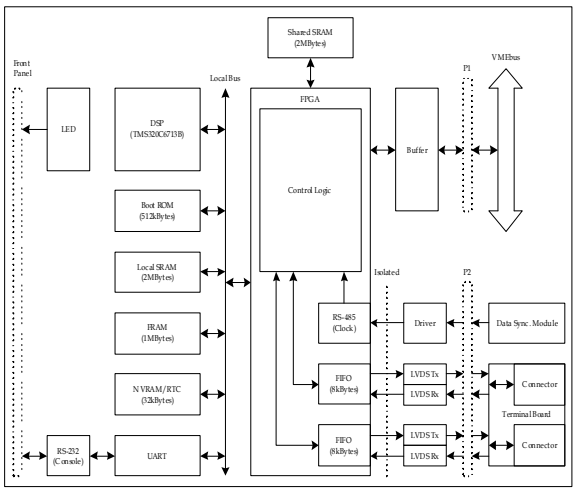
고안전성 연산제어 시스템은 3중화 구조로 되어있으며, 절체 시스템이 아니라 3개의 시스템에서 동시에 연산한 결과를 2 out of 3 보팅하여 출력하는 TMR (Triple Modular Redundancy) 시스템이다. 실험의 편의상 하나의 랙을 사용하였으며, 후면의 백플레인을 분리하여 완전히 독립적인 3중화 시스템을 구성하였다. 파워서플라이는 단일계로 구성하였으며, 후면에는 LVDS (Low Voltage Differential Signals) 통신을 위한 통신 모듈이 VME P2에 설치되어 있다.



[그림 1] 고안전성 연산제어 시스템

○ DSV 보드

DSV보드는 삼중화용 Memory 공유보드로서 TMR 시제품에서 TMR기능을 수행하기 위한 핵심적인 보드의 하나이다. 랙의 DSV보드간의 LVDS통신을 위한 인터페이스는 개발한 시제품에서 고속통신을 위하여 전용 제작된 케이블이 설치되어 있다. 하드웨어 구조는 그림 2와 같으며, 주요기능은 다음과 같다.



[그림 2] DSV 보드의 하드웨어 구조

- System Bus : DSV 보드는 VME Master/Slave 기능을 가진 보드로서 A32/A24/A16 및 D32/D16을 지원한다. 또한, DSV 보드 단독으로 동작하는 것을 고려하여System Controller 기능 및 Interrupt Handler 기능도 지원한다.
- 공유 메모리(Shared Memory) : 공유 메모리는 DSV 보드가 속해 있는 System의 Data 및 다른 두 System의 Data를 공유하고 Voting된 값을 저장하는 공간으로 사용된다. VME Bus 상에 구현되며 DSV 보드의 DSP 및 다른 VME Master에 의해 읽거나 쓸 수 있다. VME Bus 상의 공유 메모리의 크기는2Mbytes(Standard Addressing Mode)로 되어 있다.
- Console 포트 : DSV 보드는 전면으로 사용자가 Interface할 수 있는 UART 1포트를 제공한다. 이 포트는 보드 디버깅용으로 사용할 수 있으며, 통신 속도는 9,600bps에서 115,200bps 까지 지원 가능하다.
- LVDS 통신 : DSV 보드는 그림 1의 3중화 구성도와 같이 LVDS(Low Voltage Differential Signals)를 이용하여 P2 커넥터에서 다른 시스템과 서로 데이터를 주고 받을 수 있다. 이 데이터는 DSP 칩에서 Interrupt로 받을 수도 있고, Polling 방식으로 받을 수도 있다.

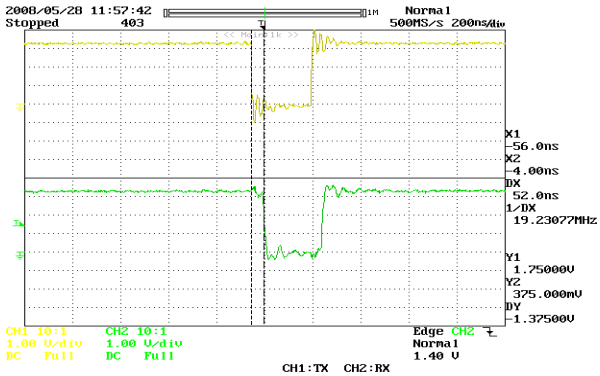
2. 적용성 시험

2.1 DSV보드 LVDS 전송성능시험

LVDS는 차분신호시스템이며, 이것은 송신기에서 서로 다른 2개의 전압을 전송하는 것을 의미하고, 수신기에서 이것들을 비교한다. LVDS는 정보 부호화에 두개의 전선의 전압차를 사용한다. 송신기는 적은 전류를 소모하며, 일반적으로 3.5 밀리암페어를 소모하고, 전선 수나 전송하는 논리 레벨에 의존적이다. 전류는 수신기 끝단에 있는 100~120 Ω 저항(케이블의 특성 임피던스를 맞춤)을 통과하며 소모되며, 다른 전선을 따라서 반대방향으로 되돌아간다. 옴의 법칙에 의해서, 저항을 교차하는 전압차는 대략 350 밀리볼트이다. 수신기는 논리 레벨을 판단하여 이 전압의 극성으로 식별한다. 신호의 형태는 전류 루프라고 불린다. DSV 보드는 LVDS 통신을 이용하여 각기 다른 DSV와 데이터를 공유한다.

○ 전송 지연시간 측정

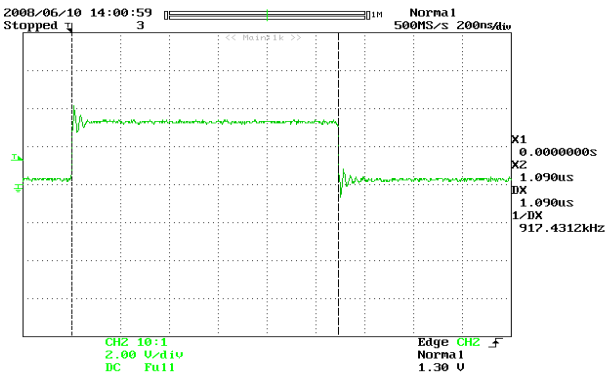
송신측 Digital Isolator 입력단과 수신 측 Digital Isolator 출력단을 오실로스코프로 측정한 파형으로 하드웨어 간 전송지연 시간은 약 52n초 정도가 소요된다.



[그림 3] LVDS 신호전송 지연시간

○ 전송 속도 측정

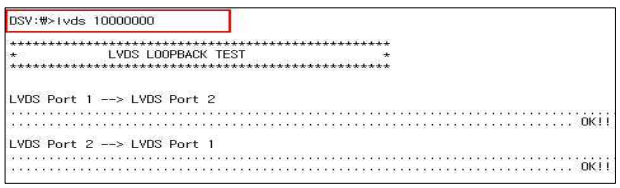
이론적으로 LVDS통신은 90Mbps이나 케이블 길이나 통신 환경에 따라 영향을 받는다. 본 고안전성 연산제어 장치에 적용된 LVDS 전송속도는 약 42.5Mbps로 측정되었다.



[그림 4] LVDS 전송속도

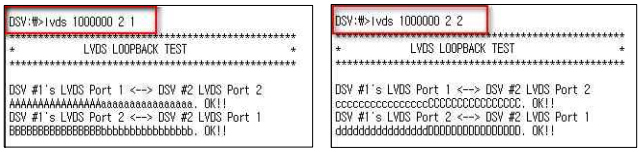
2.2 DSV메모리 공유 및 보팅 성능시험

메모리 공유 시간은 보팅 링크 성능과 관련이 있다. 각 DSV보드에서 보팅 링크 시험 결과는 아래와 같다.



[그림 5] DSV보드에서 보팅링크 시험결과

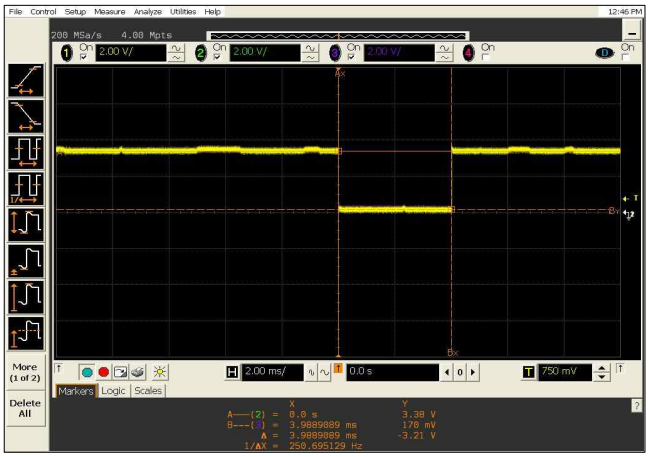
테스트는 DSV보드 #1 Vote link 1 송신 후 수신 DSV 보드 #2 Vote link 2 수신 후 송신하고, DSV 보드 #1 Vote link 2 송신 후 수신 DSV 보드 #2 Vote link 1 수신 후 송신하는 방식으로 수행되었다.



[그림 6] LVDS 통신에 의한 9 kByte 데이터 전송

○ 1 kbytes 공유 시간 측정

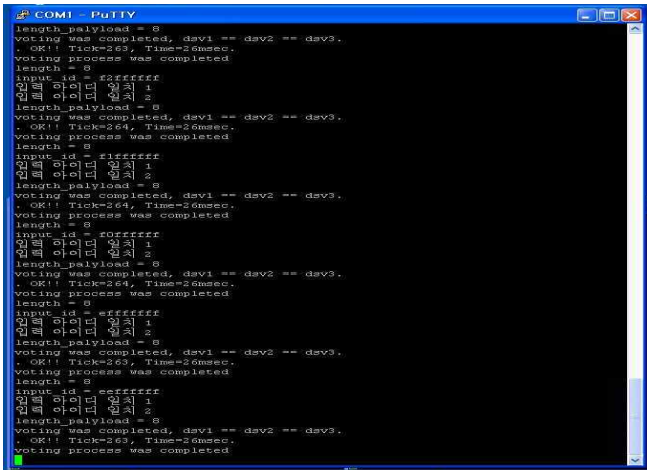
1 kbytes의 데이터를 1계, 2계, 3계 DSV 보드가 모두 공유하는데 소요되는 시간을 측정하였으며, 그 결과는 그림과 같이 4 [ms]로 측정되었다. 이 시간은 주로 DSV 보드간 인터페이스를 하는 LVDS 통신 속도에 좌우되어 진다.



[그림 7] 1Kbytes 공유시간

○ 1Kbytes 공유 보팅 시간 측정

1 kbytes의 데이터를 1계, 2계, 3계 DSV가 모두 공유하고 보팅하는데 까지 소요되는 시간을 측정하였다. 이는 LVDS 통신속도와 DSV보드의 메모리 접근시간에 좌우되며, 실험을 통해 DSV에서 소요된 총 시간이 26 [ms]로 측정되었다.



[그림 8] 공유 보팅 시험

2.3 최대 입력처리 성능 및 보팅 성공률 시험

DSV 보드가 공유 및 보팅을 원활히 수행할 수 있는 입력 값의 개수를 측정한다. 본 시험에서 사용된 시험용 프로그램을 이용하여 연속 데이터를 생성하여 시험하였다.

○ 최대 처리 개수 측정
- 1대 당 평균 300ms 마다 통신한다고 가정
- 10대 동시 통신 시에 평균 30ms 마다 통신
- 1회 최대 패킷크기는 1Kbytes
- 데이터 공유 및 보팅 지연 시간 26ms
- 입력 큐를(1024Kbytes) 설정하면 놓치는 패킷 없이 모두 처리 가능함

○ 보팅 성공률
- DSV 보드의 보팅 성공률을 측정한다.
- 하드웨어 고장이 없을 때 성공률을 측정한다.
- 1Kbytes 데이터를 10,000회 보팅수행시 100% 성공

3. 결 론

고안전성 연산제어 장치의 열차제어시스템에 대한 적용성을 평가하여 그 결과를 분석하였다.

[표 1] 성능시험 결과

항목	결과
DSV 보드 전송 지연 시간	52 ns
DSV 보드 전송 속도	42.5 Mpbs
1 kbytes 데이터 공유 시간	4 ms
1 kbytes 데이터 공유-보팅 시간	26 ms
최대 처리 가능한 입력 개수	제한 없음
보팅 성공률	100 %

개발한 고안전성 연산제어 장치는 열차제어시스템의 제어모듈을 대상으로 하는 것으로, 표 1의 성능시험 결과에서와 같이 공유 및 데이터 보팅 지연시간이 1 kbytes 처리 시에 26 [ms]로써 지상 ATP의 처리 성능기준인 30 [ms] 보다 더 빠른 것으로 확인이 되었다.

참고문헌

[1] 한국철도기술연구원, “열차제어시스템 안전성능 평가 및 사고방지기술 개발”, 국토해양부, 2009.

[2] Dakai Zhu, Rami Melhem, Daniel Mosse, “Analysis of an Energy Efficient Optimistic TMR Scheme”, Proc. of the 10th International Conference on Parallel and Distributed Systems, Jul. 2004.