

# X-by-Wire 시스템을 위한 Redundant FlexRay 네트워크의 개발

## Development of Redundant FlexRay Network for X-by-Wire System

\*전종기<sup>1</sup>, 배용경<sup>2</sup>, 이경창<sup>3</sup>, #이 석<sup>1</sup>

\*J. K. Jeon<sup>1</sup>, #Y. K. Bae<sup>2</sup>, K. C. Lee<sup>3</sup>, #S. Lee (slee@pnu.edu)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부, <sup>2</sup> 부산대학교 메카트로닉스공학과, <sup>3</sup> 부경대학교 제어계측공학과

Key words : intelligent vehicle, x-by-wire system, safet critical system, fault-tolerant, FlexRay

### 1. 서론

최근 들어, 자동차는 기계, 전자, 통신과 제어공학의 발전으로 인하여 안전성과 편의성이 획기적으로 향상되고, 안전하고 쾌적한 주행 환경은 교통사고로 인한 사회적인 손실을 최소화시키고 있다. 특히, 자동차 산업은 단순한 운송 수단에서 운송, 정보, 업무 및 휴식 공간으로 발전할 수 있는 지능형 자동차(intelligent vehicle) 기술 개발에 대한 관심을 가지고 있다.<sup>1,3</sup> 특히, 차량의 지능화를 목적으로, 기존의 기계적인 장치들과 유압 장치들이 빠르게 바뀌어 가고 있는 추세이다. 예로, 파워 스티어링(Electronic Power Steering, EPS)이나 능동 서스펜션 시스템(Active Suspension system, ASS) 등은 전자 제어 유닛(Electronic Control Unit, ECU)에 의하여 기존의 기계시스템과 전기 전자 시스템이 통합된 지능형 자동차의 대표적인 시스템들이다.

여기서, 기구학적 구조의 자동차 부품을 기계, 전자 및 통신 기술로 대체한 x-by-wire 시스템과 같은 지능형 자동차는 높은 수준의 결함 허용(fault tolerant)기술의 적용이 요구된다. 왜냐하면, 기구적인 구조의 자동차 부품은 주어진 기능의 저하와 같은 현상을 통하여 고장(failure)을 운전자에게 사전에 경고하지만, 전자 시스템에 기반을 둔 x-by-wire 시스템과 같은 지능형 자동차 기술은 특별한 현상 없이 불시에 고장이 발생하는 경우가 많기 때문이다.<sup>4,6</sup>

결함 허용을 위한 대표적인 방법인 중복 구조(redundancy)는 기존의 시스템과 비교하여 높은 신뢰성(reliability)을 갖지만, 비용 문제와 구현의 복잡성 때문에 우주 항공 산업과 방위 산업과 같은 safety-critical 시스템에 한정되어 적용되었다. 최근에, 컴퓨터 산업의 발전과 함께 컴퓨터 공학(computer science and engineering)분야에서 결함 허용에 관련된 연구가 많이 수행되고 있다. 그러나 지능형 자동차에서 x-by-wire 시스템의 결함 허용을 위한 연구는 기존의 컴퓨터 공학에서 연구된 하드웨어 중복 구조를 개념적으로 도입하는 단계에 있다. 하지만, 기존의 연구는 시뮬레이션 기법과 디지털 값의 결함과 같은 한정된 범위에서 검증되었기 때문에 x-by-wire 시스템의 결함 허용에 대한 연구는 아직 시작 단계에서 제한적으로 수행되고 있다.<sup>4</sup>

본 논문에서는 x-by-system의 신뢰성을 확보하기 위한 방법의 하나로 두 개의 채널을 사용하는 redundant FlexRay 네트워크 시스템에 대해 제안한다. FlexRay 프로토콜은 고속 동기통신 방식을 사용하여 동력전달 및 차체 시스템을 비롯한 고 대역폭 제어 어플리케이션의 구현이 용이해 차세대 차량용 네트워크로 각광받고 있다. 또한 FlexRay는 하나의 자체적으로 2개의 채널을 하나의 communication controller를 통해 제어할 수 있는 기능을 제공할 수 있기 때문에 최소의 비용으로 redundant FlexRay를 구현할 수 있는 장점이 있다.

본 논문은 서론을 포함하여 4장으로 구성되어 있다. 2장에서는 redundant FlexRay 네트워크를 구현하기 위한 FlexRay 프로토콜의 특징에 대해 기술하였으며, 3장에서는 본 논문에서 제안한 redundant FlexRay 네트워크에 대해 기술하였다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술하였다.

### 2. FlexRay 프로토콜의 개요

FlexRay 프로토콜은 BMW, 다임러크라이슬러, 필립스, 모토로라를 주축으로 하는 FlexRay 컨소시엄에 의해 2000년 이후 개발된 프로토콜이다. 프로토콜의 개발에 있어서, FlexRay는 처음부터 차량 내부의 고속 제어 용도에 적합하며 안전성, 신뢰성, 편의성을 강화한다는 목표를 가지고 추진되었다. 이러한 이유로 FlexRay는 고 대역폭, 내결함성, 정시성을 필수로 하는 전자식 브레이크(brake-by-wire)나 전자식 조향장치(steer-by-wire) 등으로 대표되는 전자화(by-wire) 제어 시스템에 가장 적합한 대안으로 제시되고 있다. 또한 FlexRay 컨소시엄에 의해 첨단 파워트레인, 샤시 시스템을 시작으로 하여 신뢰성이 요구되는 차량 내 통신 시스템의 범세계적인 표준 프로토콜로 추진되고 있다.

FlexRay는 통신 채널(communication channel)당 최대 10Mbps의 데이터 전송 속도를 지원하며 두 통신 채널이 개별적으로 작동하므로 총 20Mbps의 데이터 전송 속도를 가능하게 한다. Time-triggered 프로토콜 방식인 FlexRay는 하나의 통신 사이클 내에서 동기식과 비동기식 프레임 전송이 가능하다. 동기식 전송에서는 프레임 대기 시간과 지터를 보장해 주고, 비동기식 전송에서는 우선 순위에 의한 프레임 전송이 가능하다. 또한, 고장 허용을 위해 2개의 채널 사용이 가능한 특징이 있다.

Fig.1은 FlexRay 프로토콜 표준에서 정의하고 있는 FlexRay의 인터페이스를 블록도의 형태로 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이 FlexRay 노드는 Host, FlexRay CC(communication controller), bus driver로 구성되어 있다. 이 중 FlexRay CC는 FlexRay 네트워크의 핵심적인 부분으로 트랜시버와 연결된 bus driver를 통해 데이터를 수신하고, 데이터 및 CC의 상태정보를 Host에게 전달하는 역할을 한다. 통신제어기는 코딩/디코딩 프로세서, 미디어 접근 제어 프로세서, 프레임과 심볼 처리 프로세서, 클럭 동기 프로세서로 구성된 4개의 코어 및 CHI, POC(Protocol Operation Control) 모듈로 구성되어 있다.

POC는 CHI를 통해 전달되는 Host의 명령을 처리하는 역할과 함께 각 코어의 모든 변화를 포함한 현재 CC의 상태를 호스트에게 전송해주는 역할을 한다. POC에서 확인할 수 있는 CC의 상태정보는 normal active, normal passive, halt 3가지로 구분된다. 먼저 normal active 상태는 네트워크 상의 에러가 발생하지 않은 정상적인 네트워크 상태를 의미하며, normal passive 상태는 일시적으로 network cluster 내에

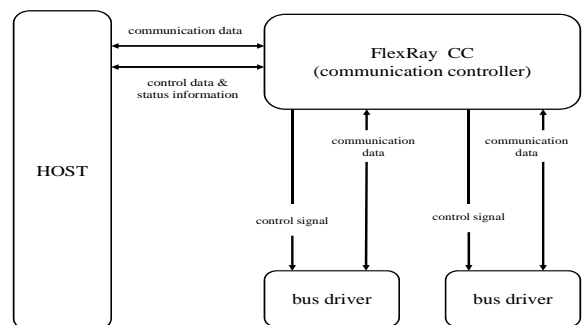


Fig. 1. Block diagram of FlexRay logical interface

서 synchronization, data collision 등으로 인해 데이터를 전송하지 못하는 상태를 의미하며, 이 상태에서는 normal active 상태로 천이하기 위하여 데이터 재전송을 시도하게 된다. 만약 데이터의 재전송에도 불구하고 normal passive 상태에서 normal active 상태로 천이하지 못하게 되면 CC 내부적으로는 처리가 불가능한 상태로 판단하고 POC state 를 halt 상태로 천이하여 Host 에게 전송하게 된다.

### 3. Redundant FlexRay 네트워크의 설계

일반적으로 두 개의 채널을 사용하는 네트워크에서 fault 가 발생하였을 경우, 채널을 전환하는 방식을 사용하는 중복구조 에서는 설계방식에 따라 hot-standby 방식과 cold-standby 방식으로 구분된다.

우선 cold-standby 방식은 두 개의 채널 중 하나의 채널을 네트워크 전송에 사용하고, 나머지 한 채널은 sleep 상태로 유지하는 방식이다. 만약 네트워크에 데이터를 전송하고 있는 하나의 채널에 fault 가 발생하였을 경우, sleep 상태를 유지하고 있던 다른 채널을 active 상태로 전환하여 채널을 전환하는 방식이다. Cold-standby 방식을 사용하는 경우 CPU 의 부하와 소모전력이 적다는 장점이 있는 반면에 fault 가 발생하였을 경우, 다른 채널로 전환 하는 시간 동안 데이터의 지연이 발생 할 수 있는 단점이 있다.

반면에 hot-standby 방식은 두 개의 채널을 모두 active 상태로 유지하여, 하나의 채널에서 fault 가 발생하면 즉시 다른 채널의 데이터를 사용하는 방식이다. Hot-standby 방식을 사용하는 경우 별도의 채널 전환 과정이 필요 없기 때문에 fault 의 발생 시 데이터의 지연이 거의 없다는 장점이 있는 반면에 지속적으로 두 개의 채널을 active 상태로 유지하는데 따른 CPU 부하와 소모전력이 상대적으로 크다는 단점도 함께 존재한다. 본 논문에서는 전송지연에 영향을 크게 받는 time-critical 시스템인 x-by-wire 에서의 데이터의 신뢰성을 보장하기 위한 방법으로 hot-standby 방식을 사용하여 redundant FlexRay 네트워크를 설계하였다.

Fig. 2 는 본 논문에서 제안한 hot-standby 방식을 적용한 redundant FlexRay 네트워크 시스템의 구조를 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 FlexRay 노드는 일반적인 FlexRay 네트워크의 구조와 동일하지만, POC 상태를 감시하여 fault 상태를 감지하는 fault detection 부분과 fault 가 발생한 채널에서 다른 채널로 전화해주는 reconfiguration 부분이 추가되어 있다.

Fault detection 부분에서는 FlexRay specification 에서 정의하고 있는 POC state 별 에러 상태를 확인하여 application 에게 네트워크의 fault 를 알려준다. Host 에서는 확인할 수 있는 네트워크의 fault 가 발생하면 먼저 CC 는 자신의 상태를 normal active 상태에서 normal passive 상태로 전환하고 데이

터의 전송을 반복적으로 수행하게 된다. 만약 현재의 fault 가 일시적인 것이라면, 데이터 전송의 반복을 통해 데이터 송수신에 성공하고 다시 normal active 상태로 천이한다. 반면에 반복적인 데이터의 전송에도 불구하고 네트워크의 fault 가 계속된다면 CC 는 자신의 상태를 halt state 로 천이하고 이 상태를 Host 에 전송하여 채널을 전환할 수 있도록 한다. CC 가 halt state 상태가 되면 임의적으로 POC state 를 default configuration 상태로 변화 시켜 소프트웨어 적으로 초기화를 실시하고 시스템이 정상화될 때까지 이 작업을 반복적으로 수행한다. 이와 함께 하나의 채널이 정상화될 때까지 다른 채널을 이용하여 데이터를 전송하게 함으로써 데이터의 전송지연 및 전송방해를 최소화 한다.

### 4. 결론

본 논문에서는 차세대 차량용 네트워크 프로토콜인 FlexRay 의 신뢰성을 향상하기 위한 방법으로 FlexRay communication controller 내부의 POC 상태를 이용한 redundant FlexRay 네트워크의 설계에 대해 제안하였다. 이러한 방법을 통해 FlexRay 노드에서 일시적인 소프트웨어의 오류와 데이터 전송의 에러 발생시 전체 시스템에 영향을 미치지 않고 채널을 전환하여 안정적으로 데이터를 송수신할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 FlexRay 프로토콜을 x-by-wire 시스템에 적용하기 위해 데이터의 신뢰성을 확보하기 위한 시스템의 설계에만 초점을 맞추고 있다. 그러나 앞에서 기술한 것과 같이 중복구조를 가지는 네트워크를 설계하는 방식에 따라 장단점이 있다. 따라서 보다 더 실용적인 연구결과를 도출하기 위하여 본 논문에서 제안한 시스템을 하드웨어 적으로 구현하고 전송지연 및 처리율에 대한 추가적인 성능평가를 수행하는 것이 필요하다.

### 후기

본 논문은 지식경제부에서 시행하는 자동차 조건전략기술 개발사업(사업명: 네트워크 기반 분산형 실시간 제어 시스템 설계 기반 기술 개발)으로 지원받아 수행된 연구결과임.

### 참고문헌

1. 이경창, 김만호, 이석, “비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 지능형 레인 센싱 알고리즘 개발,” 제어자동화시스템공학 논문지, vol. 10, no. 7, pp. 649-657, 2004.
2. 김만호, 임창희, 이석, 이경창, “지수 평활법을 이용한 predictive smoothing voter 개발,” 한국자동차공학회논문집, vol. 14, no. 6, pp. 34-42, 2006.
3. 김만호, 손병점, 이석, 이경창, “분산형 실시간 제어 시스템을 위한 TTP 네트워크 시스템의 구현,” 제어자동화시스템공학 논문지, vol. 13, no. 6, pp. 596-602, 2007.
4. R. Isermann, R. Schwarz and S. Stolz, “Fault-tolerant drive-by-wire systems,” IEEE Control Systems Magazine, vol. 22, no. 5, pp. 64-81, 2002.
5. M. H. Kim, S. Lee, and K. C. Lee, “Predictive hybrid redundancy using exponential smoothing method for safety critical systems,” International Journal of Control, Automation and Systems, vol.6, no.1, pp.126-134, 2008.
6. B. W. Johnson, Design and Analysis of Fault-tolerant digital systems, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

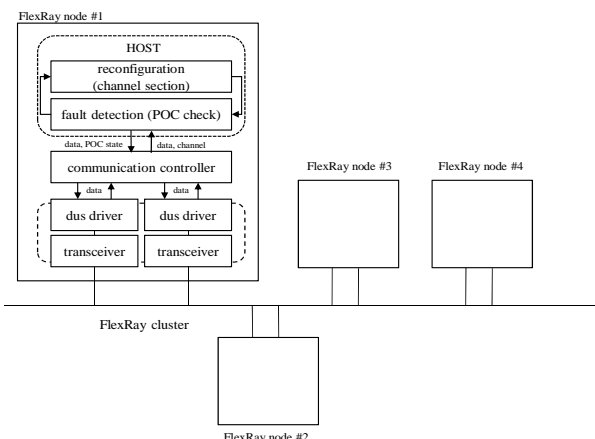


Fig. 2. System architecture of redundant FlexRay network