

차량 네트워크 시스템의 결함 허용을 위한 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 구현

Implementation of IEEE 1451 based Dual CAN Module for Fault Tolerance of In-Vehicle Networking System

이 종 갑, 김 만 호, 박 지 훈, 이 석, 이 경 창*
(Jong Gap Lee, Man Ho Kim, Jee Hun Park, Suk Lee, and Kyung Chang Lee)

Abstract: As many systems depend on electronics in an intelligent vehicle, concern for fault tolerance is growing rapidly. For example, a car with its braking controlled by electronics and no mechanical linkage from brake pedal to calipers of front tires (brake-by-wire system) should be fault tolerant because a failure can come without any warning and its effect is devastating. In general, fault tolerance is usually designed by placing redundant components that duplicate the functions of the original module. In this way a fault can be isolated, and safe operation is guaranteed by replacing the faulty module with its redundant and normal module within a predefined interval. In order to make in-vehicle network fault tolerant, this paper presents the concept and design methodology of an IEEE 1451 based dual CAN module. In addition, feasibility of the dual CAN network was evaluated by implementing the dual CAN module.

Keywords: intelligent vehicle, IVN (In-Vehicle Networking System), IEEE 1451, dual CAN module, fault tolerance, redundancy, brake-by-wire system, STIM (Standard Transducer Independent Module), NCAP (Network Capable Application Processor), TII (Transducer Independent Interface)

I. 서론

최근 들어, 기계, 전자, 통신과 제어공학의 발전으로 인하여 자동차의 안전성과 편의성이 획기적으로 향상되고 있으며, 안전성 향상을 통하여 교통사고로 인한 사회적인 손실을 최소화하는데 주력하고 있다. 또한, 자동차 산업은 단순한 운송 수단에서 운송, 정보, 업무 및 휴식 공간으로 발전할 수 있는 지능형 자동차(intelligent vehicle) 기술 개발에 대한 관심을 증대시키고 있다[1-3]. 일반적으로, 지능형 자동차가 구현되기 위해서는 차량의 위치나 속도와 같은 차량의 상태와 차량 외부의 환경이 실시간으로 인식될 수 있어야 할 뿐만 아니라, 차량이 반 자동 또는 자동으로 제어될 수 있어야 한다. 이러한 이유로, 지능형 자동차는 운전자의 편의를 위하여 차량 일부를 제어하는 운전자 보조 시스템(driver assistance system)이나 운전자에게 정보를 제공하고 위험 상황을 경고하는 충돌 경고 시스템(collision warning system) 등과 같은 다양한 지능형 센싱 및 제어(intelligent sensing and control) 알고리즘이 요구된다. 현재, 이러한 지능화 차량은 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transportation System)의 구현에 있어서 매우 중요한 분야로서, 운전자의 안전성과 편의성을 향상시키는 데 있어서 필수적인 것으로 인식되고 있다[4,5].

특히, 차량의 지능화가 더욱 높은 수준으로 진행됨에 따라, 차량에서 사용되는 측정용 센서와 제어용 액츄에이터 같은

전자 부품의 수는 급속도로 증가하게 되었다. 그러나, 전자 부품과 전자제어기(Electronic Control Unit, ECU)를 일대일로 연결하는 전통적인 배선 시스템(harness system)은 전선을 기하급수적으로 증가시키고, 배선 체계를 더욱 복잡하게 만드는 결과를 초래하였다. 또한, 차량의 정비와 기능의 추가를 어렵게 하였을 뿐만 아니라, 차량 중량을 증가시켜 차량 성능을 악화시키는 결과를 초래하였다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 자동차 회사와 부품 회사는 전자 부품과 ECU를 공유된 전선으로 연결하려는 차량 네트워크 시스템(IVN: In-Vehicle Networking system)을 개발하기 시작하였다[6,7]. 이러한 결과, 윈도우 모터나 윈도우 스위치 등과 같은 차량의 바디 제어용 프로토콜로 CAN (Controller Area Network), LIN (Local Interconnect Network) 등이 개발되어 차량에 적용되고 있다. 전통적인 기계 링크 방식과 유압 방식으로 구동되던 부품 요소들이 전자 제어를 바탕으로 한 x-by-wire 시스템으로 발전되면서 TTP/C (Time Triggered Protocol/Class C)와 TTCAN (Time Triggered CAN), FlexRay 등과 같은 프로토콜이 개발되고 있으며, CAN을 이용한 x-by-wire 시스템의 설계에 관한 연구도 진행되고 있는 중이다[8].

하지만, 기계적인 시스템과 달리 네트워크를 기반으로 작동하는 x-by-wire 시스템은 높은 수준의 결함 허용(fault tolerant) 기술의 적용이 요구된다[9-11]. 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 기술은 특별한 현상 없이 불시에 고장이 발생하는 경우가 많기 때문이다. 또한, 네트워크에서 발생할 수 있는 통신 결함은 사람의 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있을 정도로 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서, x-by-wire 시스템에서는 각 장치들을 다중화한 여유 자유도(redundancy)의 개념을 도입하여 네트워크의 결함

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 4. 25., 채택확정: 2009. 5. 11.

이종갑, 박지훈, 이석: 부산대학교 기계공학부

(gblee@pnu.edu/network@pnu.edu/slee@pnu.edu)

김만호: 대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

(mhkim@dgist.ac.kr)

이경창: 부경대학교 전기제어공학부(gclee@pknu.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

을 허용한다[12,13]. 즉, 차량 시스템의 경우 한 장치의 정보를 여러 장치에서 공유하고 있기 때문에 한 장치에서 결함이 발생할 경우 전체 시스템에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 따라서, 에러가 발생한 장치를 대체할 수 있는 추가적인 장치를 같이 설치함으로써, 전체적인 시스템의 안정성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 IEEE 1451을 이용하여 CAN 네트워크를 위한 결함 허용성을 가지는 중복 CAN 모듈(Dual CAN module)의 설계에 대하여 제안하고자 한다[14,15]. 특히, IEEE 1451은 공장 자동화 시스템에서 스마트 트랜스듀서(smart transducer)를 위하여 개발된 국제 표준으로서, 스마트 모듈의 센싱 및 신호 필터링 기능과 데이터 연산 및 통신 기능을 두 개의 모듈로 분리하도록 규정하고 있다[16,17]. 따라서, 이러한 IEEE 1451을 결함 허용을 요구하는 네트워크 모듈에 적용하는 경우, 센서나 액츄에이터에 독립적으로 통신 모듈의 결함이 발생하면 고장 난 부분을 쉽게 교체할 수 있다.

본 논문은 서론을 포함하여 V 장으로 구성되어 있다. II 장에서는 IEEE 1451 프로토콜에 대하여 간략하게 서술하였으며, III 장에서는 IEEE 1451을 이용한 중복 CAN 모듈 설계 방법에 대하여 서술하였다. IV 장에서는 실험 모델을 구현하여 제안된 중복 CAN 모듈의 성능을 평가하였다. 마지막으로, VI 장에서는 결론과 향후 과제를 제시하였다.

II. IEEE 1451 표준 개요

IEEE 1451 표준은 미국의 NIST (National Institute of Standards and Technology)와 IEEE (Electrical and Electronics Engineers)에 의해서 1993년부터 진행되었으며, 1997년에 IEEE 1451 표준을 발표하였다. 1993년 이후 IEEE 1451은 IEEE 1451.1에서부

터 IEEE 1451.6까지 표준을 발표하거나 표준화 작업을 진행하고 있으며, 그림 1과 같이 IEEE 1451 표준화 작업을 진행하고 있다. IEEE 1451.1(1999년) 표준은 NCAP (Network Capable Application Processor)의 소프트웨어 모델을 정의한다. IEEE 1451.2 (1997년) 표준은 트랜스듀서 및 NCAP간의 하드웨어 통신 채널에 대해 최초로 정의하고, 하나의 NCAP과 하나의 STIM (Smart Transducer Interface Module)이 연결되는 구조를 정의하였다. IEEE 1451.3 (2003년) 표준은 트랜스듀서 및 NCAP간의 높은 통신 대역폭이 요구되는 경우에 대하여 제정되었다. IEEE 1451.4 (2004년) 표준은 아날로그 및 디지털 신호가 동일한 하드웨어 라인을 공유하는 MMI (Mixed Mode Interface)를 정의하였다. IEEE P1451.5와 P1451.6 표준은 표준화 작업이 진행 중이며, 트랜스듀서와 NCAP사이의 무선 인터페이스 연결에 대한 표준과 물리계층에 CANopen 버스를 사용하는 버스 구조의 인터페이스에 대한 정의를 담고 있다.

IEEE 1451은 그림 2와 같이 STIM과 NCAP으로 구성되어 있다. 그림에서, STIM은 트랜스듀서와의 인터페이스, 신호 변환 그리고 신호 처리 기능을 수행한다. 즉, STIM은 트랜스듀서(XDCR)로부터 아날로그 신호를 측정하고, 측정된 아날로그 신호를 A/D 변환기(ADC)를 이용하여 디지털 데이터로 변환하고, 이를 NCAP으로 전달한다. 그리고, NCAP으로부터 전달받은 디지털 데이터를 D/A 변환기(DAC)를 이용하여 아날로그 신호로 변환한 후 트랜스듀서에 전달하는 역할도 함께 수행한다.

반면, NCAP은 STIM에서 받은 데이터를 연산 처리한 후 네트워크를 통하여 디지털의 형태로 전송하는 기능을 수행한다. 그림에서, NCAP과 STIM은 그림 2에 표시한 바와 같이

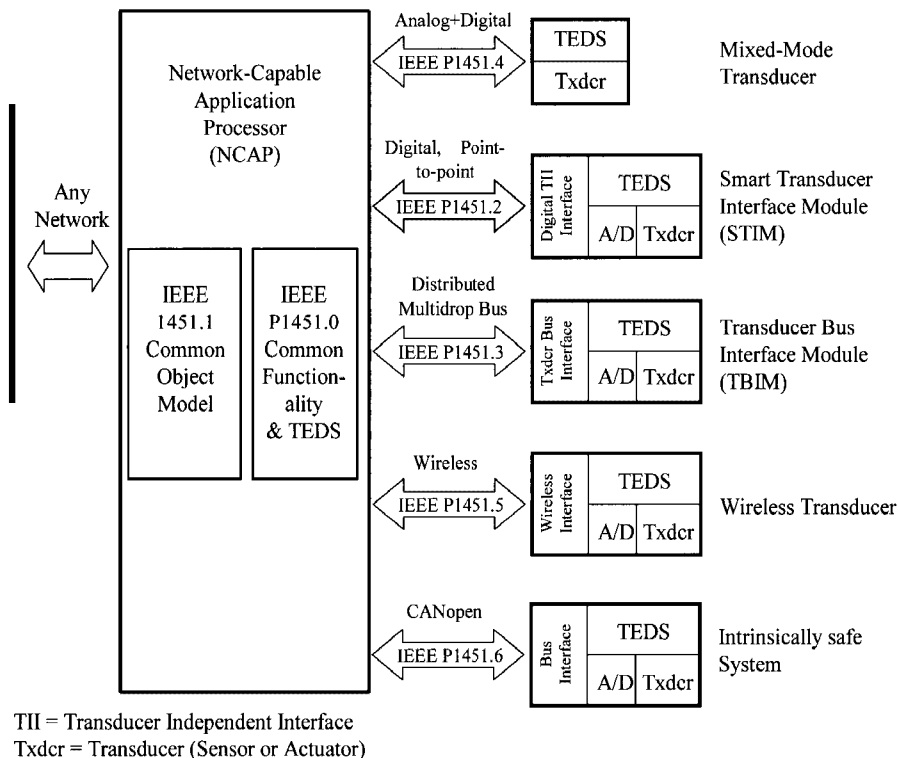


그림 1. IEEE 1451 표준 군.

Fig. 1. IEEE 1451 standard family.

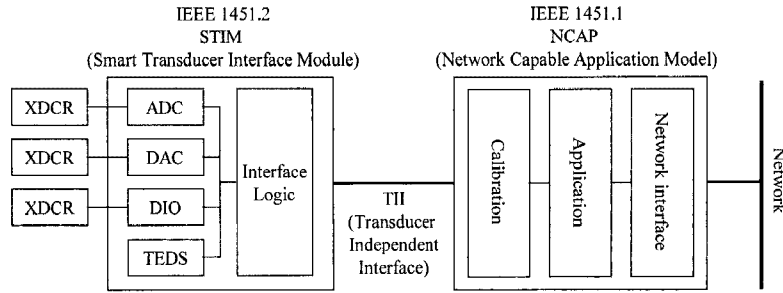


그림 2. IEEE 1451 기반 스마트 센서의 구조.
 Fig. 2. Structure of IEEE 1451 based smart sensor.

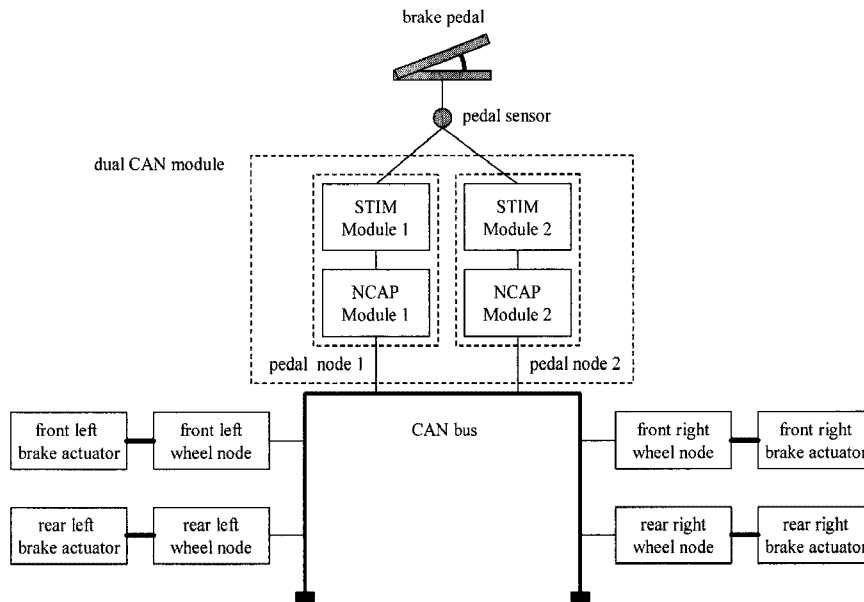


그림 3. Brake-by-wire 시스템의 결함 허용을 위한 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈 구조.
 Fig. 3. Structure of IEEE 1451 based dual CAN module for fault tolerance of brake-by-wire system.

데이터 전송을 위한 디지털 인터페이스를 정의한 TII를 이용하여 서로 통신을 수행한다. 특히, NCAP은 초기화될 때, STIM 내부에서 트랜스듀서의 종류나 보정 데이터와 같은 센서에 관한 정보를 저장하고 있는 TEDS (Transducer Electronic Data Sheet)를 통하여 트랜스듀서에 대한 정보를 읽어오게 된다. 이러한 방법에 의하여, IEEE 1451에서는 NCAP을 초기화하거나 STIM을 교체하더라도 NCAP은 TEDS로부터 센서에 대한 정보를 읽게 됨으로써, 관리자의 특별한 보정 없이도 즉시 스마트 센서의 사용이 가능하게 된다.

반면, NCAP은 STIM에서 받은 데이터를 연산 처리한 후 네트워크를 통하여 디지털의 형태로 전송하는 기능을 수행한다. 그림에서, NCAP과 STIM은 그림 2에 표시한 바와 같이 데이터 전송을 위한 디지털 인터페이스를 정의한 TII를 이용하여 서로 통신을 수행한다. 특히, NCAP은 초기화될 때, STIM 내부에서 트랜스듀서의 종류나 보정 데이터와 같은 센서에 관한 정보를 저장하고 있는 TEDS (Transducer Electronic Data Sheet)를 통하여 트랜스듀서에 대한 정보를 읽어오게 된다. 이러한 방법에 의하여, IEEE 1451에서는 NCAP을 초기화하거나 STIM을 교체하더라도 NCAP은 TEDS로부터 센서에 대한 정보를 읽게 됨으로써, 관리자의 특별한 보정 없이도 즉시 스마트 센서의 사용이 가능하게 된다.

III. IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈 설계

차량용 네트워크에서 통신 노드의 결함은 차량 내 제어 시스템에 치명적인 고장(failure)을 입힐 수 있을 뿐만 아니라, 운전자의 생명을 위협하는 치명적인 사고를 일으킬 수 있다. 특히, 제동이나 조향과 같이 운전자의 생명과 밀접한 연관을 가진 x-by-wire 시스템에서 통신 노드의 결함은 운전자의 생명까지 해치는 결과를 가져올 수 있다. 따라서, 차량용 네트워크에서 통신 노드의 결함이 발생하는 경우, 통신 노드는 결함에 강인한 특성을 가져야 하며, 결함 허용을 위한 중복 구조(redundancy)를 가지는 중복 모듈로 구현되어야 한다.

그림 3은 제동 페달 노드에 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈을 적용한 brake-by-wire (BBW) 시스템의 개념도를 나타내고 있다. 그림에서, 제동 페달 노드는 결함 허용 기능을 구현하기 위하여, STIM 모듈과 NCAP 모듈로 구성된 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈로 구성하였다. 또한, 각 통신 모듈들은 제동 페달에 연결되어 페달이 눌러지는 상태를 감지하는 하나의 전위차계(potentiometer)와 연결되어 있다. 여기에서, 페달 노드 1은 주 제어 노드로서, brake-by-wire 시스템에서 제동을 제어하기 위하여 사용되는 제동 모터를 구동하는 기능을 수행한다. 반면, 페달 노드 2는 보조 제어 노드로서, 주 제어 노드가 고장 나면 페달 노드 1의 기능을 대체하는 기능

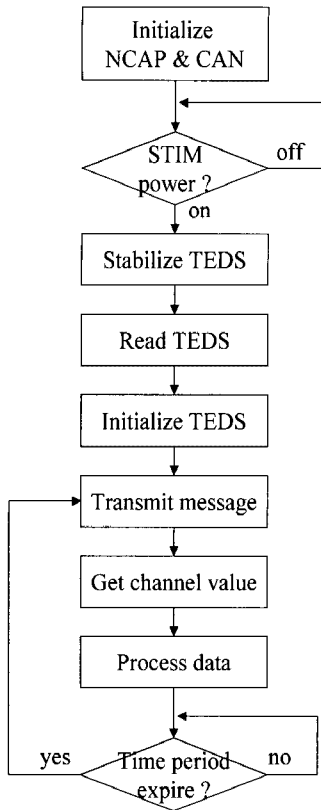


그림 4. NCAP 모듈의 동작 절차.
Fig. 4. Operation procedure of the NCAP module.

을 가지고 있다.

IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 NCAP은 그림 4와 같이 STIM이 연결되기 전까지는 NSDET핀을 지속적으로 모니터링 하면서 STIM이 연결되기를 기다린다. NSDET핀이 감지되면 STIM에 전원(+5V)을 공급하고, 초기화 명령을 전송한다. 표준 명령어를 이용하여 STIM 초기화 명령을 전송한 후, 일정 시간 동안 STIM이 초기화되기를 기다린다. 그 시간이 경과되면 현재 연결된 STIM의 종류, 신호레벨, 센서범위, 샘플링 주기 등의 정보를 가지고 있는 TEDS를 읽어 와서 메모리에 저장하게 된다. 이후 센서의 정보를 수집하기 위해 NTRIG 핀을 활성화(active)상태로 천이시키는 동작(triggering)을 하고 STIM으로부터 계측이 완료되었다는 응답인 NACK를 기다린 후, NACK가 감지되면 센서 값을 읽고 그렇지 않다면 다시 동작을 해서 STIM의 응답을 기다리게 된다. 이후 NCAP은

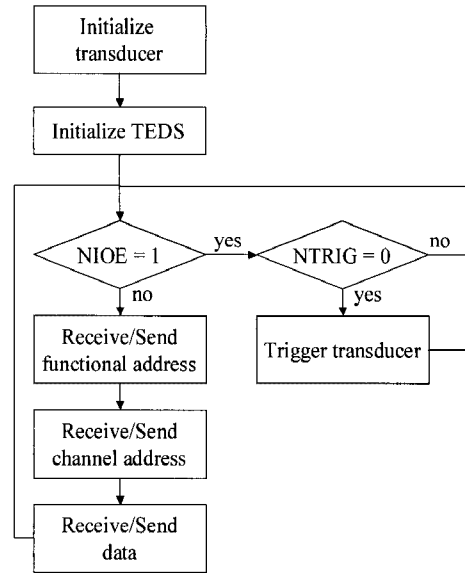


그림 5. STIM 모듈의 동작 절차.
Fig. 5. Operation procedure of the STIM module.

TEDS의 정보를 바탕으로 샘플링 주기마다 동작해서 센서의 정보를 업데이트하고 네트워크로 전송하게 된다[18].

그림 5는 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 STIM 기본 동작절차를 나타낸 것이다. 우선 전원이 인가되면 NCAP으로부터 STIM 초기화 명령을 기다리게 된다. STIM초기화 명령을 수신하면 STIM은 A/D 변환기, GIO, 타이머 등을 초기화하고 TEDS를 전송하기 위한 준비를 하게 된다. 명령을 기다리는 상태에서 표준에서 정하고 있는 특정명령을 수신하게 되면 해당 기능을 수행(read meta-TEDS, read data 등)하고 다시 명령을 대기하는 상태로 돌아가며, NTRIG핀이 active상태로 감지되면 트랜스듀서를 샘플링 해서 NCAP으로 전송하기 위한 준비를 한다. 이러한 NCAP과 STIM의 동작절차는 IEEE 1451.2 표준에서 정의하고 있는 TII의 규정을 준수하고 있으며, 이를 통해서 NCAP과 STIM의 독립적인 동작할 수 있다[18].

중복 구조를 가지는 중복 CAN 모듈은 그림 6과 같은 순서에 따라 동작한다. 먼저, 주 제어 노드인 페달 노드 1은 페달 센서로부터 센서가 눌러진 정도를 측정하고, 이를 CAN 메시지에 포함시켜 보조 제어 노드인 페달 노드 2로 전송한다. 이 때, 만약 보조 제어 노드가 주 제어 노드로부터 정해

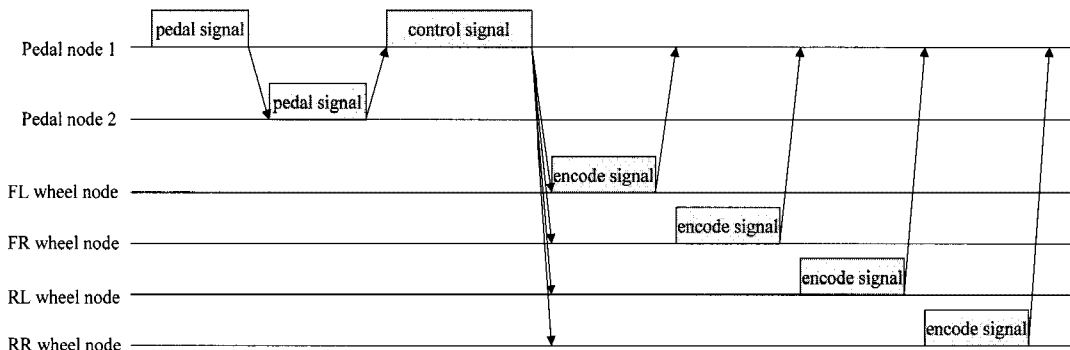


그림 6. Brake-by-wire 시스템의 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 메시지 전송 순서.
Fig. 6. Transmission schedule of IEEE 1451 based dual CAN module of brake-by-wire system.

표 1. 테스트베드를 위한 ID 할당.

Table 1. ID allocation for BBW testbed.

ID value	transmitter	length	message name
0x11	Pedal 1	8byte	brake control value for all pedal node
0x12	Pedal 1	2byte	sensor value of pedal node 1
0x13	Pedal 2	2byte	sensor value of pedal node 2
0x14	FL wheel	2byte	FL motor speed
0x15	FR wheel	2byte	FR motor speed
0x16	RL wheel	2byte	RL motor speed
0x17	RR wheel	2byte	RR motor speed

진 시간 내에 CAN 메시지를 수신하는 경우, 주 제어 노드가 정상이라고 판단하고 자신이 측정된 센서 값을 CAN 메시지에 포함시켜 주 제어 노드로 전송한다. 이를 수신한 주 제어 노드는 보조 제어 노드가 정상적이라고 판단하고, 측정된 페달 센서 값을 이용하여 각 브레이크의 제어 값을 계산하여 CAN 메시지에 포함시켜 바퀴 노드로 전송한다. 그러나, 만약 보조 제어 노드인 페달 노드 2가 정해진 시간 내에 주 제어 노드로부터 CAN 메시지를 수신하지 못하는 경우, 페달 노드 1이 고장이라고 판단하고, 보조 제어 노드는 자신이 측정된 센서 값을 이용하여 브레이크 제어 값을 계산하고 나서 바퀴 노드로 전송한다. 그리고, 페달 노드 2가 전송을 하고 있는 중에 페달 노드 1이 회복되는 경우, 페달 노드 2는 페달 노드 1에게 제어 권한을 넘겨주고, 보조 페달 노드로서의 역할로 들어간다. 마지막으로, 주 제어 노드로부터 브레이크 제어 값을 수신한 바퀴 노드는 브레이크를 제어하기 위하여 액추에이터를 구동시키고, 액추에이터로부터 엔 코딩 신호를 측정하여 CAN 메시지에 포함시켜 페달 노드로 차례대로 전송한다.

IV. IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 성능 평가

본 논문은 그림 5에서 제안한 brake-by-wire 시스템의 중복 CAN 모듈의 실제 거동을 관찰하기 위하여, 그림 7과 같은 테스트베드를 구성하였다. 각각의 바퀴 노드에는 브레이크를 제어하기 위하여 사용되는 DC 모터가 연결되어 있으며, 페달 노드는 제동 페달로부터 페달이 눌러지는 정도를 파악하기 위하여 모사된 전위차계가 연결되어 있다. 또한, CAN 버스에서의 데이터 상태를 관찰하기 위하여 네트워크 모니터링 툴인 CANoe를 연결하였다. 마지막으로, CAN의 전송 속도는 500Kbps로 설정되었다.

IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 STIM은 마이크로칩사의 PIC16F877 마이크로컨트롤러를 사용하였다. PIC16F 시리즈는 SPI 포트를 지원하고 플래시 메모리 타입의 프로그램 메모리를 가지고 있으며, 내부에 256바이트의 EEPROM을 가지고 있다. STIM 모듈에서 센서 입력을 위해서는 A/D 포트를 사용하고, 액추에이터 출력을 위해서는 PWM 포트를 사용하였다. 또한, TEDS는 읽기 쓰기가 가능한 EEPROM을 이용하여 설계하였다. NCAP은 CAN 통신 기능을 수행하는 msCAN 컨트롤러가 내장된 프리스케일사의 MC68HC912D60 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 그리고, STIM과의 통신선인 TII는 MC68HC912D60 마이크로컨트롤러의 9개의 디지털 I/O 포트를 이용하여 구성하였다. 마지막으로, CAN 통신을 위하여

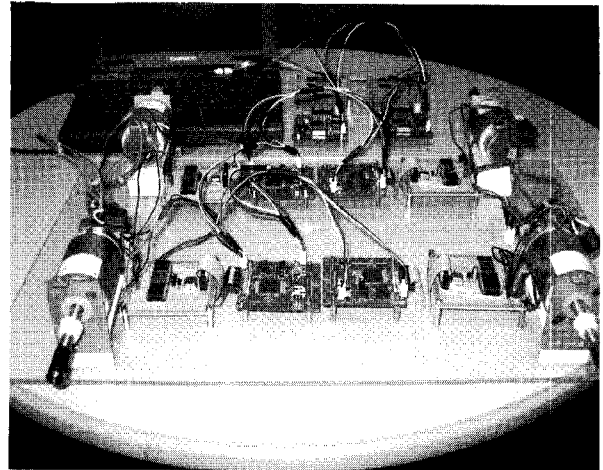


그림 7. 결함 허용을 위한 중복 CAN 모듈 테스트베드.

Fig. 7. Testbed with dual CAN module for fault tolerance.

CANRX와 CANTX의 CAN 포트가 사용되고, CAN 트랜시버로는 필립스사의 PCA82C250이 사용하였다.

CAN에서 전송되는 메시지의 ID는 표 1과 같이 설계하였다. 표에서, 모든 메시지는 DC 모터의 샘플링 주기인 4ms 주기로 CAN 버스를 통하여 순서대로 전송된다. 표에서, 페달 노드 1의 페달 센서 값은 0x12의 ID를 가지며, 페달 노드 2의 페달 센서 값은 0x13의 값을 가지도록 하였다. 그리고 나서, 주 제어 노드의 브레이크 제어 값은 0x11의 ID를 가지도록 하여, 가장 우선적으로 전송될 수 있도록 하였다. 마지막으로, 각 바퀴 노드에서 측정된 인코더 값은 0x14, 0x15, 0x16, 0x17의 ID를 가지도록 하였다. 특히, 바퀴 노드로부터 메시지를 받은 후 PWM 값으로 변환한 다음 DC 모터를 구동하도록 하였다. 주 제어 노드에서 보내는 브레이크 제어 데이터는 8byte의 길이로 구성되어 있으며, 각 바퀴마다 2byte씩 할당되어 해당 바퀴는 각 제어 메시지 내의 2byte를 읽어 들여 자신의 제어 값으로 받아들여지게 된다.

본 논문에서는 BBW 시스템에서 발생할 수 있는 결함에 대하여 중복 CAN 모듈의 성능을 평가하기 위하여, 페달 노드에 결함을 의미하는 조작을 가하여 네트워크 메시지의 변화와 모터의 속도 변화를 CANoe를 통하여 관찰하였다.

먼저, 외부의 물리적인 충격으로 인하여 전원의 공급 중단이나 통신 모듈의 작동 중단을 모사하기 위하여 통신 모듈의 전원을 끄는 방법을 사용하여 제어 신호와 모터 RPM 신호의 변화를 관찰하였다. 그림 8은 페달 노드 1의 전원이 꺼질 때 제어 신호와 인코더 신호를 나타내고 있다. x축은 시간을 초 단위로 나타내고 있으며, y축은 모터 RPM 값이다. 그림에서, 중복 모듈로 구성되어 있는 페달 노드 1과 2는 항상 같은 일을 수행하며 둘 중 하나만 작동하여야 한다. 따라서, 시스템이 시작되면 페달 노드 1은 바퀴 노드로 제어 신호를 보내고 있다. 이 때, 만약 131.8sec에 페달 노드 1의 전원을 끄면, 페달 노드 1에서는 더 이상 제어 신호가 전송되지 못하고, 약 8msec 후 페달 노드 2에서는 페달 노드 1에서 문제가 발생했다고 판단하고 제어 신호를 보내게 된다.

다음으로, 통신 노드의 내부 프로그램 오류로 통신 노드가 재시동되는 것을 모사하기 위하여, 보드의 리셋 버튼을 사용하여 제어 신호와 모터 RPM 신호의 변화를 관찰하였다. 그

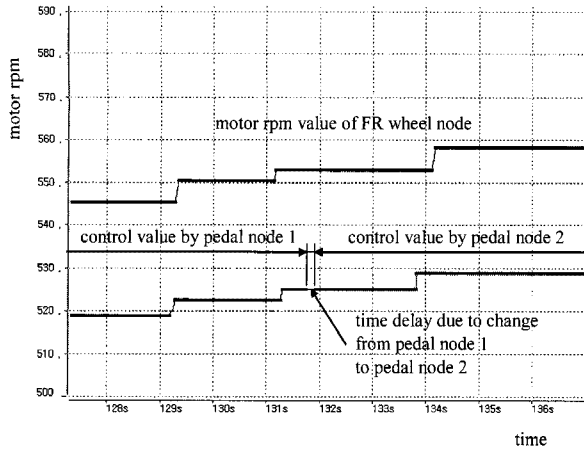


그림 8. 결함에 의한 페달 노드 1의 모터 속도의 변화.

Fig. 8. Change of motor speed by fault of pedal node 1.

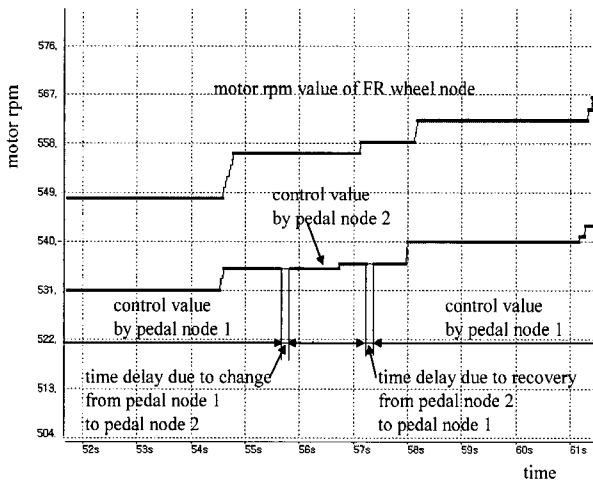


그림 9. 리셋에 의한 페달 노드 1의 모터 속도의 변화.

Fig. 9. Change of motor speed by reset of pedal node 1.

림 9는 페달 노드 1을 리셋 시킨 경우 제어 신호와 모터 RPM 신호를 나타내고 있다. 그림에서, 55.8초에 시스템 리셋이 발생하였다고 하면, 페달 노드 1은 제어 신호를 보내지 못하게 되고, 약 8msec 이후에 페달 노드 2가 제어 신호를 보내게 된다. 그리고, 페달 노드 1이 내부 리셋 과정을 거쳐 정상적으로 기능을 수행하게 되면(57.2초), 페달 노드 1에서 다시 제어 신호를 보내고 되고, 페달 노드 2는 대기 상태에 들어가게 된다.

이상과 같은 실험 결과로부터, BBW 시스템에서 중복 CAN 모듈을 운영하게 되면, 하나의 통신 노드에서 결함이 발생하는 경우에도 보조 통신 노드가 효과적으로 백업을 수행하게 됨으로써, 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 지능형 자동차를 구현하는 데 있어서 필수적인 IVN 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 설계 방법에 대하여 제시하였다. 본 논문에서는 CAN 네트워크에서 센서나 액추에이터에 IEEE 1451을 적용하기 위하여, STIM과 NCAP 모듈의 설계 방법에 대하여 제안하였다. 또한, 모터와 엔코더를 이용한 실험 모델

을 구성하여 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 성능을 평가하였다.

이상과 같은 실험 결과로부터 본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈은 네트워크의 결함이 발생할 경우에도 보조 통신 노드가 효과적으로 백업을 수행하여 시스템의 안정성을 향상시킨다. 즉, 제한한 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈은 x-by-wire 시스템의 네트워크의 결함을 허용할 수 있다는 것을 의미한다.

둘째, IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈은 결함이 발생하여 사용이 불가능할 경우 STIM 모듈만을 교체하면 되기 때문에, 네트워크 프로그램의 재 설계 없이 모듈을 쉽게 교체할 수 있다. 뿐만 아니라, 상대적으로 가격이 비싼 통신 모듈을 교체할 필요가 없으므로, 결함이 발생하였을 경우 모듈의 교체 비용의 절감이 가능하다.

본 연구에서는 IEEE 1451 기반 중복 CAN 모듈의 결함이 발생하였을 때, 교체에만 초점을 맞추었다. 향후에는 이러한 연구 결과를 확장하여, 모듈에서 결함이 발생하는 경우, 결함을 자동으로 감지하고, 새로운 모듈로 자동으로 교체할 수 있는 결함에 강인한 중복 모듈에 대한 연구가 필요하다.

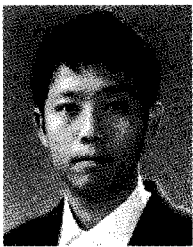
참고문헌

- [1] 이경창, 김만호, 이석, “비전 기반 스마트 와이퍼 시스템을 위한 지능형 레인 센싱 알고리즘 개발,” 제어 · 자동차 · 시스템공학 논문지, vol. 10, no. 7, pp. 649-657, 2004.
- [2] K. S. Yi and J. T. Chung, “Nonlinear brake control for vehicle CW/CA system,” *IEEE/ASME Transaction on Mechatronics*, vol. 6 no. 1, pp. 17-25, 2001.
- [3] 김만호, 손병점, 이석, 이경창, “분산형 실시간 제어 시스템을 위한 TTP 네트워크 시스템의 구현,” 제어 · 자동차 · 시스템공학 논문지, vol. 13, no. 6, pp. 596-602, 2007.
- [4] A. Broggi, “Intelligent vehicle applications worldwide,” *IEEE Intelligent Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 78-81, 2000.
- [5] L. Figueiredo, I. Jesus, J.A.T. Machado, J. R.erreira, and J. L. Martines de Carvalho, “Towards the development of intelligent transportation systems,” *2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, pp. 1206-1211, 2001.
- [6] M. S. Shin, W. T. Lee, S. Y. Han, and M. H. Sunwoo, “Development of a body network system with OSEK/VDX standards and CAN protocol,” *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 10, no. 4, pp. 175-180, 2002.
- [7] G. Cena, L. Durante, and A. Valenzano, “A new CAN-like field network based on a star topology,” *Computer Standards & Interfaces*, vol. 23, no. 3, pp. 209-222, 2001.
- [8] 이석, 김만호, 이경창, “차량 네트워크 기술 동향,” 한국정밀공학회지, vol. 23, no. 9, pp. 7-14, 2006.
- [9] 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.
- [10] H. K. Sung, S. H. Lee, and Z. Bien, “Design and implementation of a fault tolerant controller for EMS systems,” *Mechatronics*, vol. 15, no. 10, pp. 1253-1272, 2005.
- [11] 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.

[12] R. T. Bannatyne, "Advances and challenges in electronic braking control technology," *SAE Technical Paper*, 1998.
 [13] E. Dilger, T. Fuhrer, B. Muller, and S. Poledna, "The X-By-Wire Concept: Time-triggered information exchange and fail silence support by new system services," *SAE Technical Paper*, 1998.
 [14] "IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols under Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Format," IEEE Std 1451.2, 1997.

[15] "IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor Information Model," IEEE Std 1451.1, 1999.
 [16] K. B. Lee and R. D. Schneeman, "Internet-based distributed measurement and control applications," *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, vol. 2, no. 2, pp. 23-27, 1999.
 [17] E. J. Manders, L. A. Barford, and G. Biswas, "An approach for fault detection and isolation in dynamic systems from distributed measurements," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, no. 2, pp. 235-240, 2002.
 [18] K. C. Lee, M. H. Kim, and S. Lee, "Development of IEEE 1451 based smart module for in-vehicle networking systems," *Transactions of KSAE*, vol. 11, no. 6, pp. 155-163, 2003.



이종갑

1981년 10월 29일생. 2008년 창원대학교 제어계측공학과 졸업. 2008년~현재 부산대학교 기계공학부 제어자동화공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 차량용 네트워크 및 임베디드 시스템



김만호

1977년 4월 16일생. 2001년 동아대학교 기계공학부 졸업. 2002년 부산대학교 지능기계공학과 석사. 2008년 동 대학원 박사. 2006년 기계공학연구정보센터 전임 연구원. 2006년~현재 대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터 연구원. 관심 분야는 차량용 네트워크 시스템, 임베디드 시스템, 결함 허용을 위한 중복 시스템, 고령운전자 행동 분석 및 운전 부하 분석.



박지훈

1981년 2월 8일생. 2004년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2005년~현재 부산대학교 대학원 기계공학부 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 산업용 네트워크, 산업용 무선 네트워크, IEEE 1451 스마트 센서, 임베디드 시스템.



이석

1961년 12월 11일생. 1984년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1985년 펜 실바니아 주립대학교 석사. 1990년 동 대학원 박사. 1990년~1993년 신시내티 대학교 기계공학과 조교수. 1993년~현재 부산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 필드버스, 차량용 네트워크 시스템, 홈 네트워크, IEEE 1451 기반 스마트 센서, 산업용 무선 네트워크.



이경창

1971년 5월 1일생. 1996년 부산대학교 생산기계공학과 졸업. 1998년 동 대학원 석사. 2003년 동 대학원 박사. 1998년~2003년 기계공학연구정보센터 전임 연구원. 2003년~2005년 울산대학교 네트워크기반 자동화 연구센터 전임연구원.

2005년~현재 부경대학교 제어자동화공학과 조교수. 관심분야는 필드버스, 산업용 이더넷, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.