

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.2.53

JIIBC 2014-2-7

실시간 제어를 위한 FlexRay-CAN 게이트웨이 설계 및 구현

Design and Implementation of a FlexRay-CAN gateway for Real-Time Control

박정훈*, 문찬우**

JeongHoon Park*, Chan-Woo Moon**

요약 차량 내 ECU간의 데이터가 많아지면서 기존의 CAN방식보다 넓은 대역폭을 갖는 통신방식인 FlexRay 네트워크 시스템이 FlexRay 컨소시엄을 중심으로 제안되었다. 그러나 FlexRay 부품의 수급이나 구현 비용 등의 문제로 당분간은 FlexRay-CAN 게이트웨이를 사용한 FlexRay와 CAN의 혼재 네트워크 시스템이 사용될 것으로 예측된다. 본 논문에서는 다중모터 시스템을 대상으로 실시간 제어를 위한 FlexRay-CAN 게이트웨이를 구현하고 제어 데이터의 구성방법을 제시하며, 제안한 게이트웨이와 다중모터시스템을 이용하여 실시간 제어 실험을 수행한다.

Abstract As the amount of data between ECUs has increased, the FlexRay consortium proposed FlexRay network system which has larger bandwidth than CAN. But because of implementation cost, CAN and FlexRay hybrid network with FlexRay-CAN gateway will make up the largest part of in-vehicle networks for the present. In this paper, a FlexRay-CAN gateway for a real time feedback control system is implemented, and a data packing algorithm is presented. Finally, a real control experiment with multi-motor system is conducted to verify the proposed gateway system.

Key Words : In-vehicle network, FlexRay-CAN gateway, Real time control, Multi-motor system.

I. 서론

최근 자동차 산업에 있어서, 차량의 안전과 효율 그리고 편의를 위해 다양한 전자제어장치(Electronic Control Unit: ECU)들의 적용이 늘고 있다. 이에 따라 다양한 전자제어장치와 센서 및 구동기를 네트워크로 연결한 분산 제어 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 차량에 적용되고 있는 전자 시스템은 주로 조향과 제동 부분에 사용되는 기계적 링크를 전자식으로 대체한

Steer-by-Wire와 Brake-by-Wire를 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 이러한 X-by-Wire는 다수의 센서, 액추에이터, 제어기를 이용하여 구성되며 X-by-Wire는 센서와 액추에이터가 네트워크로 연결된 실시간 피드백 제어 시스템을 구성한다^[2]. 이러한 전자장비들을 연결하기 위해 차량용 네트워크인 CAN(Controller Area Network)를 사용하고 있다. CAN은 차량에 가장 많이 사용되는 통신 규약으로 다양한 솔루션이 개발되어 현재 엔진, 샤시 제어에 주로 사용되고 있다. CAN은 최대 1Mbps의 데이

*정회원, 국민대학교 전자공학부
접수일자 2014년 3월 7일, 수정완료 2014년 4월 5일
게재확정일자 2014년 4월 11일

Received: 7 March, 2014 / Revised: 5 April, 2014

Accepted: 11 April, 2014

*Corresponding Author: mcwnt@kookmin.ac.kr
College of EECS, Kookmin University, Korea

터 전송 속도를 지원하고 비교적 안정된 통신 인터페이스를 제공한다. 이와 더불어 늘어나는 ECU의 개수에 따라 통신량이 많아지면서 CAN 통신이 지원하는 대역폭의 한계에 다다르고 있다^[3]. 이를 해결하기 위해 고속 통신 규약으로 FlexRay가 고안되었다. FlexRay는 10Mbps의 데이터 전송 속도를 지원할 뿐만 아니라 time-triggered 방식의 메커니즘을 사용하여 높은 시간 예측성을 제공하는 장점이 있다. 그러나 FlexRay 통신 프로토콜의 비용 및 설계 신뢰성 등 다양한 이유로 인해 FlexRay 단일 네트워크 시스템보다는 게이트웨이를 활용한 FlexRay-CAN 혼용 시스템이 사용될 것으로 보인다^{[4][5]}.

본 논문에서는 마이크로컨트롤러를 이용하여 FlexRay-CAN 혼용 시스템을 위한 게이트웨이를 구현한다. 또한, 구현된 게이트웨이를 다중 모터 제어 시스템에 적용하여 게이트웨이 및 다중 모터 제어 시스템의 성능을 검토한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 차량의 통신방법과 게이트웨이에 대해 살펴보고, 3장에서는 제한한 게이트웨이에 대해 서술하며, 4장에서는 제한한 방법의 실험 및 결과에 대해 보이고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. FlexRay-CAN 게이트웨이를 적용한 다중 모터 제어 시스템

1. CAN, FlexRay 통신 프로토콜

가. CAN

CAN은 1986년 차량내의 전자제어장치간의 통신을 위해 차량 부품 업체인 BOSCH에 의해 개발되었다. 최대 2032개의 서로 다른 노드를 하나의 네트워크상에 연결하여 통신할 수 있으며 최대 1Mbps의 통신속도를 제공한다. 버스를 통해 데이터/원격/에러/과부하 메시지 프레임이 송수신되며 표준 CAN(버전 2.0A)와 확장 CAN(버전 2.0B)의 두 가지의 형태메시지 프레임을 지원한다^[6].

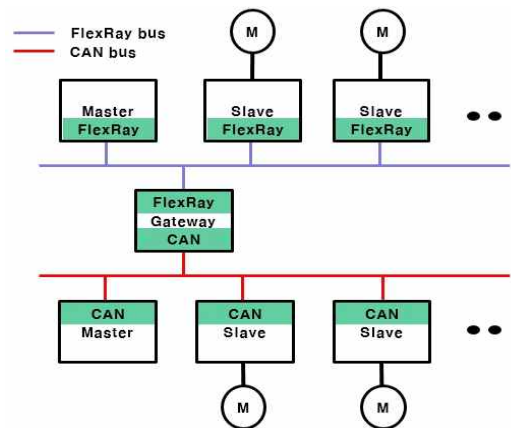
나. FlexRay

FlexRay 프로토콜은 CAN의 낮은 속도와 이벤트기반의 프로토콜에서 오는 문제점을 해결하기 위해 FlexRay 컨소시엄에 의해 개발되었다. FlexRay 프로토콜은 채널당 최대 10Mbps의 고속 전송 속도를 지원하며, 듀얼 채널

을 지원함에 따라 여유도를 제공하며 고장 허용 기능이나 더 넓은 대역폭을 위해 사용될 수 있다. 또한 시분할 방식을 이용하여 프레임을 전송하므로 확정적인 전송 지연을 가지고 있어 실시간 분산 제어 시스템에 적합하다. FlexRay프로토콜에서 하나의 통신 사이클은 정적 구간(Static Segment), 동적 구간(Dynamic Segment), 심볼 윈도우(Symbol Window), 네트워크 유휴 시간(Network Idle Time)으로 이루어진다^{[7][8]}.

2. CAN-FlexRay 게이트웨이를 이용한 제어 시스템

FlexRay-CAN 게이트웨이가 적용된 다중 모터 제어 시스템의 구조를 그림 1에 나타내었다. 모터는 차량내 구동기로 폭 넓게 사용되는 BLDC 모터를 사용하였다^[9]. 속도 지령을 내는 주 제어기는 FlexRay 노드를, 속도 지령을 받아 모터를 제어하는 보조 제어기는 CAN 노드를 가지고 있다. 주 제어기는 FlexRay 버스를 통해 다른 FlexRay 통신 노드들과 통신할 수 있으며, 게이트웨이를 통해 모터 제어를 위한 보조 제어기에 속도 지령을 전송할 수 있다. 주 제어기에서 전송한 속도 지령에 따라 모터를 구동시킨 보조 제어기는 실제 모터의 속도를 계산하여 게이트웨이를 통해 주 제어기에 전송한다.

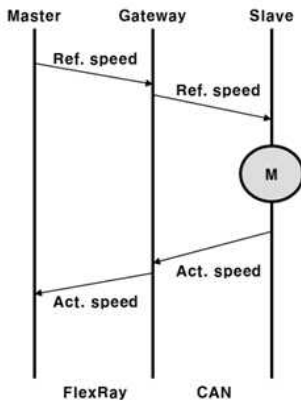


1. FlexRay-CAN 게이트웨이를 적용한 다중 모터 제어 시스템의 구조

Fig 1. Structure of multiple motors control system applied FlexRay-CAN gateway

각 노드들이 전송해야 하는 데이터와 할당된 ID는 각각 그림 2와 표 1과 같다. 그림 3은 FlexRay-CAN 게이

트웨이의 변환 알고리즘 순서도를 보여준다. FlexRay에서 CAN으로 변환하는 과정은 다음과 같다. 시스템 시작 후, FlexRay 버스로부터 정해진 프레임 ID가 존재하면 게이트웨이는 해당 프레임을 수신한 후 FlexRay 프레임의 데이터를 버퍼에 저장한다. 저장한 데이터를 CAN 표준 형식 데이터 프레임으로 변환하고 수신하는 CAN 노드에 대한 ID를 할당 후 정해진 우선순위에 따라 전송한다. 역으로 CAN에서 FlexRay로 변환하는 과정은 다음과 같다. 게이트웨이는 CAN 버스를 통해 수신한 CAN 데이터 프레임의 데이터를 버퍼에 저장하고, 저장한 데이터를 FlexRay 프레임 형식으로 변환한다. 고정된 크기의 위치 및 속도의 지령과 실제 값에 대한 송수신이 이루어지기 때문에 FlexRay 통신 사이클은 동적 슬롯을 제외하여 구성하고 정적 슬롯에 의해서만 프레임을 전송한다.



2. FlexRay-CAN Gateway를 통해 전송되는 데이터의 흐름

Fig. 2. Flow diagram of data

표 1. 통신 데이터

Table 1. Communication data

Source	Protocol	Destin.	ID	데이터
Master	FlexRay	Gateway	20	지령
Gateway	CAN	Slave 1	801	지령 1
Gateway	CAN	Slave 2	801	지령 2
Gateway	CAN	Slave 3	802	지령 3
Gateway	CAN	Slave 4	802	지령 4
Gateway	CAN
Gateway	FlexRay	Master	12	센서

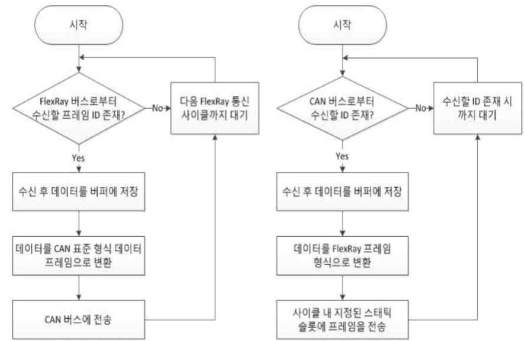
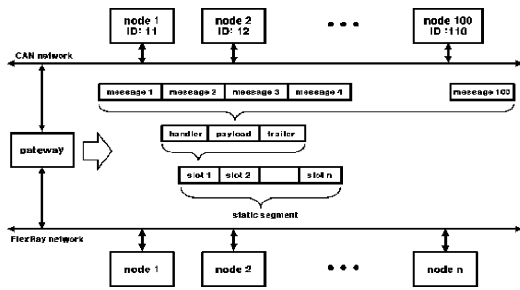


그림 3. FlexRay-CAN 게이트웨이의 프로토콜 변환 알고리즘
 Fig. 3. Algorithm of FlexRay-CAN gateway

III. 제안된 FlexRay-CAN 게이트웨이 시스템

기존에 연구에서 제안된 FlexRay-CAN 게이트웨이에서는 FlexRay와 CAN 간의 데이터 변환을 위해 실 사용되는 데이터 외에도, 데이터의 식별을 위한 SMD(Start Message Delimiter, 3-bit), LoM(Length of Message, 3-bit), ID(Identifier, 29-bit)등의 정보를 함께 전송해야만 했다. 이러한 정보들은 최대 35-bit 크기의 적지 않은 공간을 차지하여, 동시에 전송하고자 하는 CAN 노드의 수가 많아지면 한번의 FlexRay 통신 사이클 내에 모든 메시지가 전송 완료되지 못하는 문제가 발생할 수 있다. [10] 본 논문에서는 제어를 위한 데이터의 크기는 항상 일정한 특징을 고려하여 SMD, LoM, ID등의 정보를 FlexRay 데이터 프레임의 payload를 통해 전송하지 않는 대신, CAN 노드의 ID를 순차적으로 정렬하고, 일정한 크기의 CAN 데이터만 전송함으로써, SMD, LoM, ID등의 식별 정보 없이 CAN 노드에 할당된 데이터를 식별할 수 있도록 한다. FlexRay-CAN 게이트웨이에서는 FlexRay 버스로부터 수신한 데이터를 CAN 노드의 전송 데이터와 같은 크기로 분할하여 CAN 노드에 순차적으로 전송할 수 있다. 제안하는 데이터의 변환절차는 그림 4와 같다.

CAN 노드가 100개이고 노드마다 전송해야 할 데이터가 2 byte인 시스템인 경우 기존의 방법에서는 최소 20개의 메시지에서 47개의 메시지를 동시에 전송할 수 있는 것과 비교하여 제안된 방법에서는 최소 31개의 메시지에서 최대 254개의 메시지를 동시에 전송할 수 있다.



4. 정적인 메시지의 크기를 고려한 FlexRay-CAN 게이트웨이의 데이터 변환 절차

Fig. 4. Data transformation process of static message FlexRay-CAN Gateway

IV. 실험 및 결과

FlexRay-CAN 게이트웨이를 이용한 실시간 제어를 위한 실험 시스템은 그림 5와 같이 구성되어 있다. 주 제어기는 Infineon사의 32비트 마이크로컨트롤러 TC1782 Evaluation Board를 사용하였으며, 게이트웨이 또한, FlexRay 통신과 CAN 통신이 모두 가능한 TC1782 Evaluation Board를 사용하였다. 모터를 제어하기 위한 보조 제어기는 BLDC 모터 구동 모듈인 CCU(Capture and Compare Unit)을 내장한 XC2287M Evaluation Board를 사용하였다 [11][12]. 실제 실험 환경을 그림 6에 나타내었다. 주 제어기와 FlexRay-CAN 게이트웨이는 FlexRay 버스를 통해 연결되어 있으며, 보조 제어기와 FlexRay-CAN 게이트웨이는 CAN 버스를 통해 연결되어 있다. FlexRay 버스와 CAN 버스는 모두 CANoe 모니터링 툴을 통해 모니터링 된다. 그림 7에 게이트웨이의 데이터 변환 결과를 나타내었다. 주 제어기에서 FlexRay 통신을 통해 게이트웨이로 들어가는 두 개의 속도 지령값 20(0x14, RPS)과 30(0x1E, RPS)이 보인다.

이 속도 지령값들은 게이트웨이를 통해 FlexRay 프로토콜 데이터에서 CAN 프로토콜 데이터로 변환되어 보조 제어기로 전달되며, 그림 7의 2번으로 표시되었다. 게이트웨이를 통해 전달 받은 속도 지령에 따라 모터를 구동시킨 각 보조 제어기들은 실제 모터의 회전 속도를 측정하여 CAN 통신을 통해 게이트웨이로 전송한다. 이 때, 전송되는 모터의 실제 회전 속도는 결과 3번에서 확인되었다. 보조 제어기로부터 수신한 각 모터의 실제 속도는 하나의 FlexRay 통신 데이터가 되어 주 제어기로 전달되며, 결과 그림 7의 4번을 통해 이를 확인 할 수 있다.

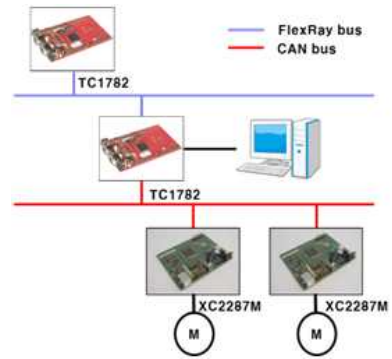


그림 5. 실험 시스템 구성도
Fig. 5. Architecture of system

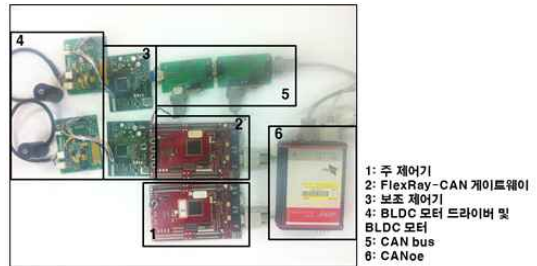


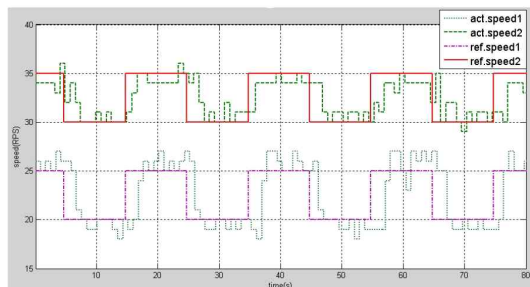
그림 6. 실험 환경
Fig. 6. Experiment environment

Time	Can	ID	Name	Event Type	Dir	ELC	Data
0.00012	FR 1 A	12	Act_PDU_H	PDU	Rx	4	15
0.00012	FR 1 A	12	Act_PDU_L	PDU	Rx	4	1F
0.00012	FR 1 A	30	CTL_PDU_H	PDU	Rx	4	14
0.00012	FR 1 A	30	CTL_PDU_L	PDU	Rx	4	1E
0.00012	FR 1 A	30	CB_Value	Raw Frame	Rx	8	14
0.00012	CAN 1	790		CAN Frame	Rx	8	14
0.00012	CAN 1	11	can_act_spd1	CAN Frame	Rx	2	15
0.00012	CAN 1	12	can_act_spd2	CAN Frame	Rx	2	1F
0.00012	FR 1 A	12	Act_Spd	Raw Frame	Rx	8	15
0.00012	FR 1 A	12	Act_Spd	Raw Frame	Rx	8	1F

그림 7. FlexRay-CAN 게이트웨이의 데이터 변환 결과
Fig. 7. Result of data translation of FlexRay-CAN gateway

그림 8에 FlexRay-CAN 게이트웨이를 통한 다중 BLDC 모터의 속도 제어 결과를 나타내었다. 2개의 모터 모두 10초 주기로 속도 지령값을 변화시키며 속도 지령에 따른 모터의 실제 속도를 측정하였다. 2개의 모터가 독립적으로 각각의 지령만을 따라 동작하는 것을 확인하기 위해 하나의 모터에는 30RPS와 35RPS값을 차례로 인가하여 고속모드로 진행하였으며, 다른 하나의 모터에는 20RPS와 25RPS값을 차례로 인가하여 저속 모드로 진행하였다. 홀 센서만을 사용하여 모터의 속도를 측정

하였기 때문에 속도 분해능이 낮고 오차가 있지만 전체적으로는 지령 속도를 추종하는 모터의 실제 속도를 볼 수 있다.



8. 다중 BLDC 모터 속도 제어 결과
 Fig. 8. Result of multiple BLDC motor speed control

V. 결론

본 논문에서는 다중 모터 제어 시스템을 위한 FlexRay-CAN 게이트웨이를 구현하였다. 주 제어기와 보조 제어기간 전송되는 데이터의 크기가 변동없이 일정함을 이용하여 메시지 식별 정보의 전송을 생략하고 통신 노드와 메시지의 테이블을 작성함으로써 한번의 FlexRay 통신 사이클 내에 더 많은 모터 제어 데이터들을 전송하는 방법을 제안하였다. 자동차 및 로봇 산업용으로 주로 쓰이는 BLDC 모터와 차량용 전자 제어 유닛으로 사용되는 TC1782, XC2287M 등의 마이크로프로세서로 제어기 및 게이트웨이를 구성하였으며 데이터의 전송량이 많은 주 제어기는 FlexRay 통신을 하고, 비교적 전송량이 적은 보조 제어기는 CAN 통신을 하는 시스템에서, 주 제어기와 보조 제어기 사이의 데이터 통신이 게이트웨이를 통해 이루어짐을 실험을 통해 확인하였다. 또한, 주 제어기에서 전송하는 속도 지령에 따라 보조 제어기 내의 속도 제어기를 통해 다수의 BLDC 모터를 제어 하였으며, 속도 지령에 따른 실제 모터의 속도를 측정하여 성능을 확인하였다.

References

[1] S. Lee, D. H. Lee, M. H. Kim and K. C. Lee,

“Traffic-balancing Algorithm for CAN System with Dual Communication Channels to Enhance the Network Capacity,” *Int. J. Automotive Technology*, Vol.11, No.4, pp.525-531, 2010.

[2] E. G. Schmidt and K. Schmidt, “Message Scheduling for the FlexRay Protocol: The Dynamic Segment,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.58, No.5, pp.2160-2169, 2009.

[3] Kyoungnam Ha, Yonggyung Bae, Kyungchang Lee, Suk Lee, “Analysis of transmission delay for chassis network systems,” *KSAE conference*, pp. 840-845, 2009.

[4] S. H. Seo, S. W. Lee, S. H. Hwang and J. W. Jeon, “Development of NetworkGateway between CAN and FlexRay Protocols for ECU Embedded Systems,” *International Joint Conference on SICE-ICASE*, pp.2256-2261, 2006.

[5] I. S. Park, and M. H. Sunwoo, “FlexRay Network Parameter Optimization Method for Automotive Applications,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 4, pp. 1449-1459, 2010.

[6] Robert Bosch GmbH, CAN specification version 2.0, 1991.

[7] “FlexRay Protocol Specification V2.1 Rev.A,” FlexRay Consortium, 2005.

[8] “FlexRay Physical Layer Specification V2.1 Rev.B,” FlexRay Consortium, 2006.

[9] Sanghoon Kim, “DC, AC, BLDC motor control,” Bookdu, 2010

[10] Yong Gyung Bae, Man Ho Kim, Suk Lee, Kyung Chang Lee, “Implementation of Node Mapping-based FlexRay-CAN Gateway for In-vehicle Networking System,” *Transactions of KASE*, vol 19, No. 6, pp. 37-45, 2011.

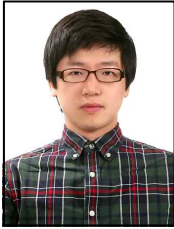
[11] Infineon Technologies AG, TC1784 User’s Manual, 2009.

[12] Infineon Technologies AG, XC2200 User’s Manual, 2008.

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임
(2012R1A1A2040141)

소개

정 훈(준회원)



- 전자공학 학사
- 국민대학교 전자공학부
- 주관심분야 : 네트워크 기반 모터제어, 차량 소프트웨어, 기능안전

문 찬 우(정회원)



- 공학박사
- 국민대 전자공학부 교수
- 주관심분야 : 차량전자, 지능로봇