

중복 통신 채널을 가진 CAN 시스템에서 분산 메시지 할당 방법에 관한 연구

A Study on Distributed Message Allocation Method of CAN System with Dual Communication Channels

김 만 호, 이 종 갑, 이 석, 이 경 창*
(Man Ho Kim¹, Jong Gap Lee¹, Suk Lee¹, and Kyung Chang Lee²)

¹Pusan National University
²Pukyong National University

Abstract: The CAN (Controller Area Network) system is the most dominant protocol for in-vehicle networking system because it provides bounded transmission delay among ECUs (Electronic Control Units) at data rates between 125Kbps and 1Mbps. And, many automotive companies have chosen the CAN protocol for their in-vehicle networking system such as chassis network system because of its excellent communication characteristics. However, the increasing number of ECUs and the need for more intelligent functions such as ADASs (Advanced Driver Assistance Systems) or IVISs (In-Vehicle Information Systems) require a network with more network capacity and the real-time QoS (Quality-of-Service). As one approach to enhancing the network capacity of a CAN system, this paper introduces a CAN system with dual communication channel. And, this paper presents a distributed message allocation method that allocates messages to the more appropriate channel using forecast traffic of each channel. Finally, an experimental testbed using commercial off-the-shelf microcontrollers with two CAN protocol controllers was used to demonstrate the feasibility of the CAN system with dual communication channel using the distributed message allocation method.

Keywords: IVN (In-Vehicle Networking System), CAN (Controller Area Network), network capacity, distributed message allocation method, distributed traffic prediction method, double exponential smoothing method, intelligent vehicle

1. 서론

최근 들어, 기계, 전자, 통신과 제어 공학의 발전으로 인하여 자동차의 안전성과 편의성이 획기적으로 향상되고 있으며, 안전하고 쾌적한 주행 환경에 의하여 교통 사고로 인한 사회적인 손실이 최소화되고 있다. 특히, 자동차 산업에서는 단순 운송 수단에서 정보, 업무 및 휴식 공간의 역할을 할 수 있는 지능형 자동차(intelligent vehicle) 기술 개발에 대한 관심이 증대되고 있다[1,2]. 일반적으로, 지능형 자동차가 구현되기 위해서는 차량의 위치나 속도와 같은 차량의 상태와 차량 외부의 환경이 실시간으로 인식될 수 있어야 한다. 또한, 자동차가 내부 및 외부의 정보를 바탕으로 반 자동 또는 자동으로 제어될 수 있어야 한다. 이러한 이유로, 지능형 자동차에서는 운전자의 안전 운전을 보조하는 ADAS (Advanced Driver Assistance System)나 운전자에게 다양한 정보를 제공하는 IVIS (In-Vehicle Information System) 등과 같은 다양한 지능형 센싱 및 제어 알고리즘이 요구되고 있다[3,4].

지능형 자동차 기술이 더욱 높은 수준으로 발전됨에 따라, 기존 차량의 엔진 제어용 센서뿐만 아니라 안전 편의성을 위한 가속도 센서, 비전 센서, 레이더 센서 등과 같은 전자 부

품의 수가 급속도로 증가되고 있다. 특히, 자동차를 제작하는데 드는 비용 중에서 전자 부품이 차지하는 비중이 2008년을 기준으로 23% 이상으로 증가되고 있으며, 앞으로 그 비중은 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다[5]. 그러나 센서나 액츄에이터, 스위치를 전선을 이용하여 전자 제어기(ECU: Electronic Control Unit)와 점대점(point-to-point) 방식으로 연결하는 전통적인 배선 시스템(harness system)은 전선이 기하급수적으로 증대되는 결과를 초래한다. 이러한 전선의 증가는 배선 시스템을 더욱 복잡하게 함으로써 차량의 정비와 새로운 기능의 추가를 어렵게 할 뿐만 아니라, 차량 중량을 증가시켜 차량 성능을 악화시키는 결과를 야기한다[6,7].

이러한 문제를 해결하기 위하여, 자동차 회사가 중심이 되어 ECU와 센서, 액츄에이터, 스위치를 한 가닥의 공유된 전선으로 연결하려는 차량 내부 네트워크 시스템(IVN: In-Vehicle Networking System)이 개발되었다. 현재, 윈도우 모터(window motor)나 도어 락 스위치(door lock switch) 등과 같은 바디 네트워크(body network)용 프로토콜로 CAN (Controller Area Network)과 LIN (Local Interconnect Network)이 차량에 적용되고 있다[8,9]. 특히, CAN 프로토콜은 다양한 에러 감지 메커니즘과 재전송 능력을 가지고 있기 때문에, 전송되는 데이터의 높은 안정성과 사용 가능성이 보장된다. 또한, CAN은 차량의 바디 네트워크 시스템이나 새시 네트워크 시스템에서, 여러 개의 노드가 주기적으로 메시지를 보내더라도 버스 상에서 메시지 충돌이 효과적으로 중재될 수가 있다고 알려져 있다. 이러한 CAN의 특징은 IVN 에서 요구하는 데이터 특성을 비교적 잘 만족하기 때문에, 현재 전세계적으로 바디

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 3. 29., 수정: 2010. 7. 5., 채택확정: 2010. 7. 13.

김만호, 이종갑, 이석: 부산대학교 기계공학부

(kmh@pnu.edu, gblee@pnu.edu/slee@pnu.edu)

이경창: 부경대학교 제어계측공학과(gclee@pknu.ac.kr)

※ 본 연구물은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인제양성사업의 연구결과임.

네트워크 시스템뿐만 아니라 새시 네트워크 시스템에서도 많은 적용이 이루어져 있다.

하지만 CAN 네트워크 시스템에서 버스 트래픽이 급격하게 증가하게 되면, CAN의 특성에 의하여 우선 순위가 높은 식별자(ID: identifier)를 가지는 메시지들이 전송 권한을 모두 점유하게 된다. 이로 인하여, 상대적으로 우선 순위가 낮은 메시지들은 전송 기회를 잃게 됨으로써 원하는 시간 내에 데이터를 전송할 수 없게 될 뿐만 아니라, 시스템에 큰 위험을 초래할 수도 있다[10].

현재, 자동차 회사와 부품 회사는 전송되는 데이터의 안정성과 사용 가능성을 보장하기 위하여 다양한 방법을 적용하거나 개발하고 있다. 차량에 적용되고 있는 가장 대표적인 방법은 게이트웨이(gateway)를 이용하여 하나 이상의 CAN 세그먼트(segment)로 나누는 것이다[11]. 하나 이상의 CAN 세그먼트로 CAN 버스를 구성하면 각각의 CAN 세그먼트는 충분한 네트워크 전송 용량(capacity)을 확보하기 때문에, 상대적으로 우선순위가 낮은 메시지도 전송할 기회를 얻게 되어 데이터의 안전성과 사용 가능성이 확보될 수 있다. 하지만 CAN 세그먼트 사이에 보내야 할 데이터가 많아지면, 게이트웨이에서의 전송 지연(time delay)이 급격하게 증가할 수 있다 [12]. 결과적으로 네트워크 성능(network performance)도 급격하게 떨어질 수 있다. 특히, 게이트웨이에서 여러 가지 원인에 의한 결함(fault)으로 인하여 고장(failure)이 발생되면 전체 네트워크가 정상적인 통신을 할 수 없게 된다는 치명적인 단점이 있다.

전송되는 데이터의 안정성과 사용 가능성을 보장하기 위한 다른 방법은 FlexRay와 같은 time-triggered 방식의 새로운 프로토콜을 개발하는 것이다. 기존의 CAN 프로토콜은 event-triggered 방식으로 100Kbps에서 최대 1Mbps의 전송 속도를 제공하지만, time-triggered 방식인 FlexRay 프로토콜은 1Mbps에서 최대 10Mbps의 전송 속도를 제공한다. 특히, FlexRay 프로토콜은 통합 새시 네트워크 시스템(integrated chassis networking system)과 같은 hard real-time에 적합하도록 설계되었다[13]. 그러나 기존의 CAN 프로토콜을 기반으로 개발된 바디 네트워크와 새시 네트워크의 메시지 데이터베이스와 응용 프로그램을 FlexRay 네트워크로 변경하는 것은 자동차 부품 회사 수준에서는 매우 어려운 일이다[14]. 특히, 네트워크 분야 소프트웨어 및 하드웨어 엔지니어가 부족한 국내에서는 더욱 어려운 일이다. 또한, FlexRay 노드를 개발하고 구현하는데 필요한 비용은 기존의 CAN 노드와 비교하여 너무 많은 비용이 소요된다. 이러한 문제 때문에, 일부 자동차 회사와 부품 회사는 기존의 CAN 프로토콜을 FlexRay 프로토콜로 대체하는 것에 대하여 주저하고 있다[15].

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문은 CAN 프로토콜의 네트워크 전송 용량을 증가시켜 메시지의 실시간 QoS 성능(real-time quality-of-service performance)을 보장하는 방법에 대하여 제안한다. 최근에 마이크로 컨트롤러(microcontroller) 기술의 발전으로 인하여 두 개 이상의 CAN 프로토콜 컨트롤러(CAN protocol controller)를 가진 상용(commercial off-the-shelf, COTS) 마이크로 컨트롤러가 개발되어 있다. 이러한 환경에서, 본 논문에서는 두 개의 CAN 프로토콜 컨트롤러

(CAN protocol controller)와 두 개의 트랜시버(transceiver)를 이용하여 중복 채널(dual channel)을 운영할 수 있는 CAN 시스템을 제안한다. 그러나 두 개의 채널을 이용하여 메시지를 전송하는 경우 적절하게 채널 선택이 되지 않는다면, 네트워크 트래픽이 한쪽으로 급격하게 쏠리는 현상이 생길 수 있다. 최근, S. Lee [16,17]에 의하여 CAN 노드에서 두 개의 채널을 이용하여 메시지를 전송하는 경우에 어떤 채널로 메시지를 전송할지를 결정하는 메시지 할당 방법(message allocation method)가 제안되었다. 그러나 제안된 방법의 경우 트래픽을 관찰하는 traffic prediction mode에서 오류가 생기면 메시지 할당이 불가능해지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 모든 노드가 트래픽을 예측하고 적절하게 메시지를 할당할 수 있는 분산 메시지 할당 방법(distributed message allocation method)을 제안한다. 마지막으로, 본 논문에서는 제안된 메시지 할당 방법의 성능을 평가하기 위하여 임베디드 시스템 기반의 테스트베드를 구성하고 그 성능을 평가한다.

본 논문은 총 IV 장으로 구성되어 있다. II 장에서는 중복 채널을 가진 CAN 시스템과 메시지 할당 방법에 대해서 설명한다. III 장에서는 메시지 할당 방법의 성능을 평가하기 위한 임베디드 시스템 기반의 테스트베드를 설명하고 버스 트래픽의 변화에 따른 메시지 할당 방법의 성능 평가 결과를 보여준다. 마지막으로 IV 장에서 요약과 결론을 제시한다.

II. 중복 채널을 가진 CAN 시스템

이론적으로, CAN 시스템에서 두 개의 채널을 이용하여 메시지를 전송한다면 각각의 채널의 네트워크 트래픽은 반으로 줄어들어야 한다. 하지만 메시지는 확률적으로(probabilistically) 생성되기 때문에 두 채널의 트래픽이 똑 같이 반으로 각각 줄어드는 것은 거의 불가능하다. 따라서, 두 개의 채널을 이용하는 CAN 시스템에서는 발생된 메시지를 적절하게 분배할 수 있는 메시지 할당 방법이 필요하다[16,17].

그림 1은 중복 채널을 가진 CAN 시스템의 구조를 나타내고 있다. 그림에서 duo-CAN 노드는 두 개의 CAN 제어기(CAN controller), 두 개의 트랜시버(transceiver), 트래픽 예측기(traffic predictor), 채널 할당기(channel allocator), 응용 프로그램(application program)로 구성되어 있다. 먼저, 트래픽 예측기는 각 채널의 네트워크 트래픽을 예측하는 기능을 담당한다. 여

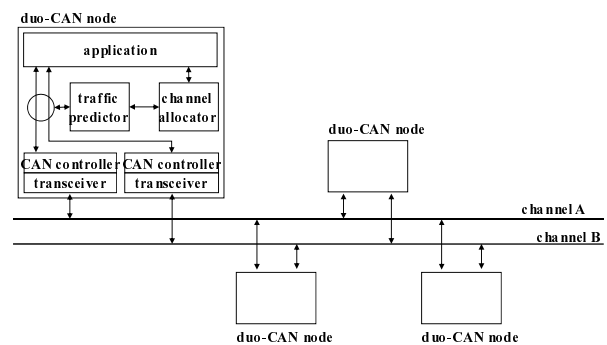


그림 1. 중복 채널을 가진 CAN 시스템 구조.
Fig. 1. Structure of CAN system with dual communication channels.

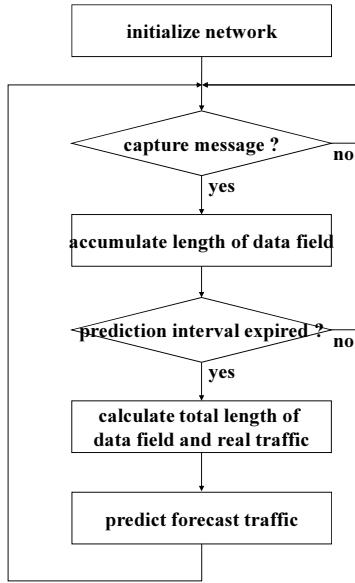


그림 2. 분산 트래픽 예측 방법의 구조.
 Fig. 2. Structure of distributed traffic prediction method.

기에서, 네트워크 트래픽은 대표적인 시계열 예측 기법인 이중지수평활법(double exponential smoothing method)을 사용하여 일정한 주기로 예측된다. 그리고 나서 채널 할당기는 예측된 각각의 채널 트래픽 정보를 이용하여 메시지 할당 방법에 따라 전송해야 할 채널을 선택한다.

그림 2는 중복 채널을 가진 CAN 시스템의 분산 트래픽 예측 방법(distributed traffic prediction method)을 나타내고 있다. 그림에서, CAN 시스템이 초기화된 이후 트래픽 예측기는 각 채널에서 발생하는 메시지를 수집하여 각 채널의 메시지의 데이터 필드를 계산하는 과정을 반복한다. 예정된 시간(predefined interval)이 지난 후에 트래픽 예측기는 각 채널의 전체 데이터 필드와 네트워크의 실제 트래픽(real traffic: $RT(k)$)을 계산한다. 그리고 나서 이중지수평활법을 이용하여 각 채널의 예측 트래픽(forecast traffic: $FT(k)$)을 계산한다. 마지막으로, 트래픽 예측기는 예측 트래픽 정보를 채널 할당기로 전달하고 메시지를 수집하는 과정을 반복한다. 여기서, 네트워크의 트래픽은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$RT(k)_i = \frac{L_i}{D \times T} \quad (1)$$

$RT(k)_i$ 는 i 채널의 실제 트래픽을 의미하고, D 는 전송속도, T 는 사전에 정해진 주기(period)를 의미한다. 그리고 L_i 는 한 주기 동안 i 채널의 전체 메시지의 데이터 필드 길이를 의미한다.

트래픽 예측기의 예측 방법은 대표적인 시계열 예측기법인 이중지수평활법을 사용한다. 일반적으로, 이중지수평활법은 입력 값의 상관 관계가 과거에서 현재로 감에 따라 최근의 값에 높은 비중을 주는 예측 방법이다. 또한, 이중지수평활법은 직관적으로 이해하기 쉽고 사용이 편리하다는 측면에서 자료 예측에 많이 사용되고 있다. 특히, 이중지수평활법은 제어 입력 신호와 같이, 값이 경향을 가지는 경우에 뛰어난 예측 특성을 가진다고 알려져 있다[18].

본 논문에서 사용된 트래픽 예측식은 식 (2)과 같은 이중지수평활법을 이용하여 추정한다.

$$\begin{aligned}
 FT^{[1]}(k) &= \alpha RT(k) + (1 - \alpha)FT^{[1]}(k - 1) \\
 FT^{[2]}(k) &= \alpha FT^{[1]}(k) + (1 - \alpha)FT^{[2]}(k - 1) \\
 FT(k) &= \left(2 + \frac{\alpha}{1 - \alpha}\right)FT^{[1]}(k) - \left(1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha}\right)FT^{[2]}(k)
 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $FT^{[1]}(k)$ 는 $k-1$ 사이클의 $FT^{[1]}(k-1)$ 추정 값과 k 사이클의 실제 트래픽(real traffic) $RT(k)$ 에 지수평활법을 적용하여 추정한 값을 의미한다. $FT^{[2]}(k)$ 는 $FT^{[1]}(k)$ 추정 값을 다시 지수평활법을 적용하여 추정한 값을 의미한다. $FT(k)$ 는 k 사이클에서 추정한 $FT^{[1]}(k)$ 와 $FT^{[2]}(k)$ 를 이용하여 추정한 k 사이클의 추정 값을 의미한다. 또한, α 는 지수평활화 상수로서, 현재에 가까운 값에 높은 가중치를 주기 위하여 0.05에서 0.3의 값을 가진다[17]. 실제 트래픽 $RT(k)$ 는 $k-1$ 사이클의 최종 트래픽 값과 $k-2$ 사이클의 최종 트래픽 값의 편차로 정의한다. 단, 이중지수평활법에서 $FT(1)$, $FT^{[1]}(1)$, $FT^{[2]}(1)$ 은 처음 입력 값의 평균으로 정의한다.

중복 채널을 가진 CAN 시스템에서 모든 duo-CAN 노드의 트래픽 예측기가 거의 유사한 트래픽 값을 예측하더라도 모든 duo-CAN 노드가 메시지를 트래픽이 낮은 하나의 채널을 이용하여 전송하면 안 된다. 왜냐하면, 모든 duo-CAN 노드가 트래픽이 낮은 채널로 메시지를 동시에 전송하면 전송된 채널은 순간적으로 메시지가 폭주하여 트래픽이 급격히 증가하게 되기 때문이다. 그림 3은 이를 방지할 수 있는 duo-CAN 노드의 메시지 할당 방법을 나타내고 있다. 그림에서, CAN 시스템이 초기화된 이후 채널 할당기는 트래픽 예측기로부터 각 채널의 예측된 트래픽 정보를 수집한다. 그리고 나서 duo-CAN 노드에서 메시지가 발생하면, 채널 선택기는 수집된 $P_A(k)$ 와 $P_B(k)$ 를 이용하여 식 (3)과 같이 각 채널의 $P_A(k)$ 와 $P_B(k)$ 를 계산한다.

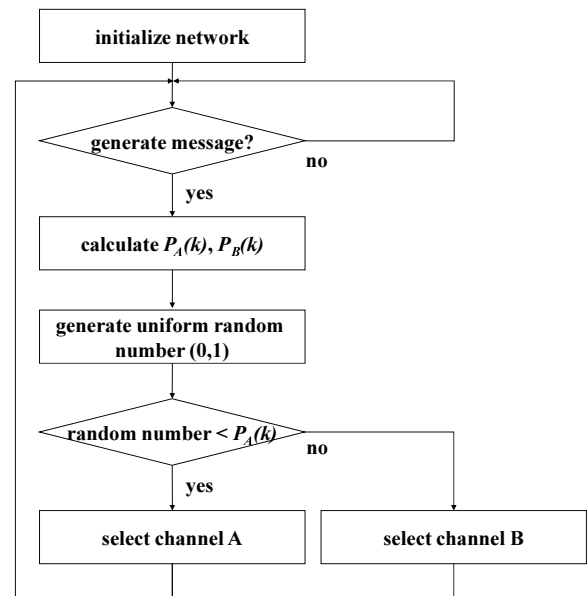


그림 3. 메시지 할당 방법의 구조.
 Fig. 3. Structure of message allocation method.

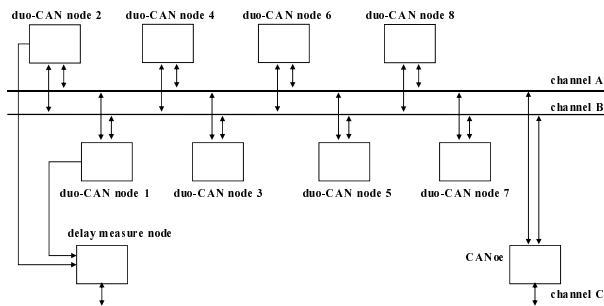
$$P_A(k) = \frac{FT_B(k)}{FT_A(k) + FT_B(k)}$$

$$P_B(k) = \frac{FT_A(k)}{FT_A(k) + FT_B(k)}$$
(3)

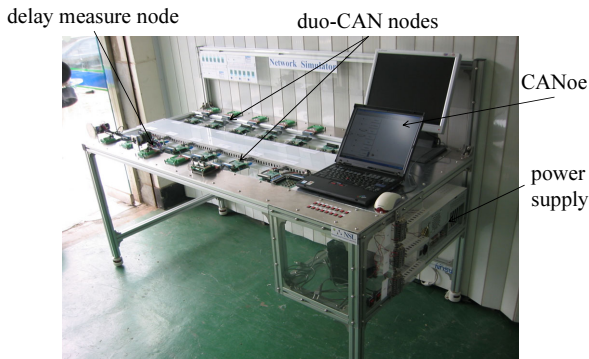
각 채널의 $P_A(k)$ 와 $P_B(k)$ 를 계산하고 난 후, 채널 할당기는 0에서 1 사이의 균일 랜덤 값(uniform random number)을 발생시킨다. 여기서, 발생한 균일 랜덤 값이 $P_A(k)$ 보다 작으면 채널 할당기는 메시지를 전송할 채널로 A 채널을 선택한다. 반대로, 발생한 균일 랜덤 넘버가 $P_A(k)$ 보다 크면 채널 할당기는 메시지를 전송할 채널로 B 채널을 선택한다.

III. 메시지 할당 방법에 대한 성능 평가

본 절에서는 메시지 할당 방법의 성능을 평가하기 위하여 그림 4와 같은 실험 모델을 구성하였다. 그림 4(a)는 메시지 할당 방법의 성능을 평가하기 위한 실험 모델의 구조를 나타내고 있다. 그림에서, 실험 모델은 8 개의 duo-CAN 노드, 1개의 전송 지연 측정 노드와 모니터링을 위한 노트북으로 구성되어 있다. 특히, 실험 모델은 자동차의 바디 네트워크와 같은 IVN 시스템을 모사하여 구성하였다. 그림 4(b)는 구축한 실험 모델을 나타내고 있다. 실험 모델에서 duo-CAN 노드의 마이크로 컨트롤러로는 두 개 이상의 CAN 프로토콜 컨트롤러가 내장된 MC9S12DG256이 사용되었다. MC9S12DG256은 프리스케일(Freescale)사에서 생산된 마이크로 컨트롤러로서 매우 많은 자동차의 ECU용 프로세서로 사용되고 있다. 또한, CAN 트랜시버로는 필립스의 PCA82C250을 사용하였다. 트래픽 예측 방법과 메시지 할당 방법은 MathWorks MATLAB Simulink와 Stateflow를 이용하여 모델링하였으며, MATLAB



(a) Schematic diagram of the experimental testbed



(b) Implementation details for the experimental testbed

그림 4. 중복 채널을 가진 CAN 시스템의 실험 모델.
Fig. 4. Experimental testbed of CAN system with dual channels.

Real-Time Workshop을 이용하여 C 코드로 변환되어 Metrowerks CodeWarrior를 이용하여 다운로드하였다. 전송 지연 측정 노드는 duo-CAN 노드 1에서 duo-CAN 노드 2로 전송되는 메시지의 전송 지연을 측정하여 별도의 CAN 통신 채널(channel C)을 이용하여 모니터링 노트북으로 전송한다. 여기서, 전송 지연은 마이크로 컨트롤러에서 제공하는 CAN Tx 인터럽트(메시지가 생성되어 CAN 프로토콜 컨트롤러에게 송신 명령을 내릴 때 발생하는 인터럽트)와 Rx 인터럽트(전송 버퍼에서 충돌 없이 메시지 전송이 종료될 때 발생하는 인터럽트) 간의 시간의 차이로 정의한다. 모니터링을 위한 노트북에는 Vector's 사의 CANoe가 설치되어 있으며, duo-CAN 노드의 전송 지연을 실시간으로 측정한다. 그리고 CAN 프로토콜의 전송 속도는 500Kbps로 설정되었다. 마지막으로, 메시지 할당 방법의 성능을 비교 평가하기 위하여 한 개 채널만을 사용하는 일반 CAN(conventional CAN) 시스템과 각 노드에서 채널을 교대로 사용하여 메시지를 전송하는 채널 교환 CAN(channel switching CAN) 시스템을 함께 구현하였다.

표 1은 각 CAN 노드에서 생성되는 메시지의 ID를 나타내고 있다. 본 실험 모델에서는 각 CAN 노드에서 3가지 그룹의 메시지가 8-20msec 주기로 생성되도록 설정하였다. 여기서, 높은 우선순위(high-priority) 메시지 그룹의 메시지는 0x06E부터 0x118까지, 중간 우선순위(medium-priority) 메시지 그룹은 0x1FE부터 0x2A8까지, 낮은 우선순위(low-priority) 메시지 그룹은 0x712부터 0x7BC까지로 정의하였다. 본 논문에서는 제안된 메시지 할당 방법의 성능을 비교 평가하기 위하여, 세 가지 그룹의 메시지의 평균 전송 지연을 측정하였다.

그림 5는 높은 우선순위 메시지(0xDC)의 평균 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서, 일반 CAN의 경우, 네트워크의 트래픽이 증가함에 따라 평균 전송 지연이 최대 2.38msec까

표 1. Duo-CAN 노드의 메시지 발생 조건.

Table 1. Message generation conditions for duo-CAN nodes.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
N 1	0x6E	0xD2	0x1FE	0x262	0x712	0x776
N 2	0x78	0xDC	0208x	0x26C	0x71C	0x780
N 3	0x82	0xE6	0x212	0x276	0x726	0x78A
N 4	0x8C	0xF0	0x21C	0x280	0x730	0x794
N 5	0x96	0xFA	0x23A	0x28A	0x73A	0x79E
N 6	0xA0	0x104	0x244	0x294	0x744	0x7A8
N 7	0xAA	0x10E	0x23A	0x28E	0x74E	0x7B2
N 8	0xB4	0x118	0x244	0x2A8	0x758	0x7BC

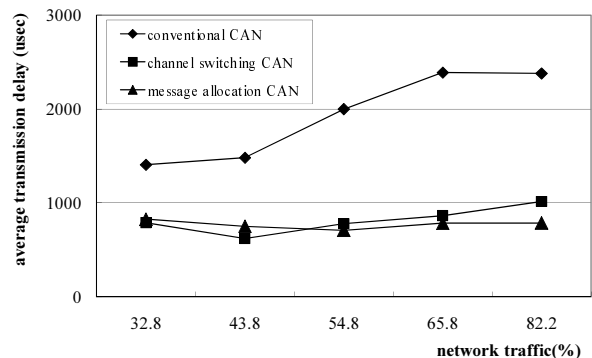


그림 5. High-priority 메시지의 평균 전송 지연.
Fig. 5. Average transmission delay of high-priority message.

지 완만하게 증가되었다. 그러나 채널 교환 CAN의 경우, 트래픽이 82.2%일 때 평균 전송 지연이 1.015msec로 나타났으며, 트래픽이 낮아지면 조금씩 낮아짐을 확인할 수 있었다. 반면, 제안된 메시지 할당 방법을 이용한 경우(그림에서는 메시지 할당(message allocation) CAN으로 표시한다), 트래픽에 관계없이 0.787msec 정도로 일정한 평균 전송 지연을 유지함을 알 수 있었다. 이러한 차이는 다음과 같은 이유로 인하여 발생된다고 평가된다. 먼저, 채널 교환 CAN에서는 각 노드가 독립적으로 채널을 교환하여 메시지를 보내기 때문에, 순간적으로 트래픽이 한 채널에 몰릴 수 있다. 이는 평균 전송 지연을 증가시키게 만드는 주요한 원인이 된다. 반면, 메시지 할당 CAN에서는 트래픽이 한 채널에 몰릴 수 있는 가능성까지 고려하여 각 노드가 채널을 결정한다. 따라서 트래픽 집중 현상이 거의 발생되지 않는다고 볼 수 있다.

그림 6은 중간 우선순위 메시지(Ox28A)의 평균 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서, 일반 CAN의 경우, 네트워크의 트래픽이 증가됨에 따라 평균 전송 지연이 최대 2.434msec까지 급격하게 증가되었다. 그러나 채널 교환 CAN의 경우, 트래픽이 높을 때 높은 우선순위 메시지에 비하여 더 많은 1.346msec까지 평균 전송 지연이 증대되었다. 그러나 메시지 할당 CAN의 경우, 평균 전송 지연이 높은 우선순위 메시지의 평균 전송 지연과 거의 차이가 없음을 확인할 수 있다. 특히, 채널 교환 CAN은 트래픽이 높아지게 되면 평균 전송 지연도 증가되지만, 메시지 할당 CAN은 트래픽의 변화에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 전 트래픽 구간에서 메시지 할당 CAN의 감소율이 채널 교환 CAN의 감소율보다 더 낮음을 알 수 있다. 즉, 메시지 할당 CAN이 채널 교환 CAN보다 더 많은 감소가 이루어졌음을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6을 비교할 때, 채널 교환 CAN에서는 중간 우선순위 메시지의 평균 전송 지연이 높은 우선순위 메시지의 평균 전송 지연보다 높음을 알 수 있다. 반면, 메시지 할당 CAN에서는 높은 우선순위 메시지와 중간 우선순위 메시지의 평균 전송 지연이 거의 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 이러한 특성은 채널 교환 CAN에서는 트래픽의 순간적인 집중이 발생되지만, 메시지 할당 CAN에서는 거의 완전하게 트래픽이 채널 별로 균등하게 나누어졌음을 의미한다.

그림 7은 낮은 우선순위 메시지(Ox7BC)의 평균 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서, 일반 CAN의 경우, 네트워크의

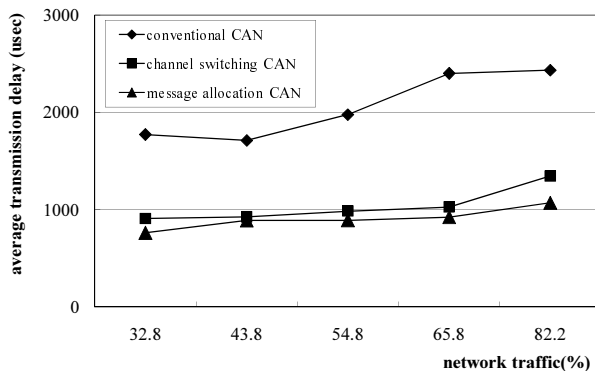


그림 6. Medium-priority 메시지의 평균 전송 지연.
Fig. 6. Average transmission delay of medium-priority message.

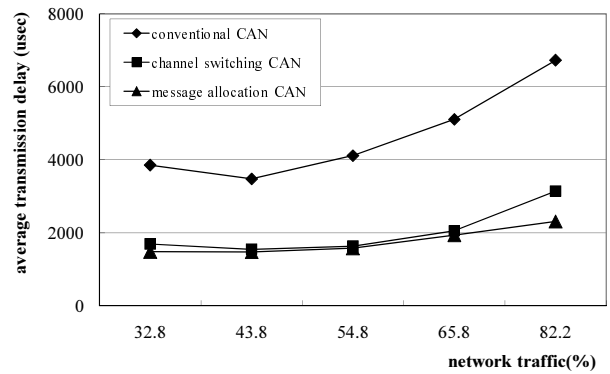


그림 7. Low-priority 메시지의 평균 전송 지연.
Fig. 7. Average transmission delay of low-priority message.

트래픽이 증가됨에 따라 평균 전송 지연이 최대 6.729msec까지 증가되었다. 그러나 채널 교환 CAN의 경우, 높은 트래픽 조건에서는 평균 전송 지연이 최대 3.138msec까지 증가되었음을 알 수 있다. 반면, 메시지 할당 CAN은 트래픽이 높은 경우에도 채널 교환 CAN에 비하여 상대적으로 작게 트래픽이 증가되는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 기존의 CAN 프로토콜을 변경하지 않고 네트워크의 전송 용량을 향상시켜 메시지의 실시간 QoS 성능을 보장할 수 있는 중복 채널을 가진 CAN 시스템에 대하여 제안하였다. 또한, CAN 노드에서 두 개의 채널을 이용하여 메시지를 전송하는 경우에 어떤 채널로 메시지를 전송할지를 결정하는 메시지 할당 방법을 제안하였다. 마지막으로, 본 논문에서는 제안된 메시지 할당 방법의 성능을 평가하기 위하여 임베디드 시스템 기반의 실험 모델을 구성하고 그 성능을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 논문에서 제안된 메시지 할당 방법을 이용하는 중복 채널을 가진 CAN 시스템은 CAN 시스템의 전송 지연을 41.63% 이상 줄일 수 있음을 확인하였다. 특히, 트래픽이 높을 때 우선순위가 낮은 메시지가 전송되지 못하는 현상을 획기적으로 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라, 본 논문에서 제안된 메시지 할당 방법은 전송되는 메시지의 우선순위 특성에 관계없이 전송 지연을 일정하게 유지하는 (High 메시지: 42.18%, Medium 메시지: 44.48%, Low 메시지: 38.24%) 성능이 뛰어난 것을 확인하였다.

둘째, 마이크로 컨트롤러 기술의 발전으로 인하여 중복 채널을 지원하는 CAN 시스템은 기존의 네트워크 전송 용량을 향상시키기 위한 게이트웨이 방법이나 FlexRay 적용 방법에 비하여 쉽게 구현할 수 있으면서도 추가적인 비용이 들지 않는 효과적인 방법임을 알 수 있다. 특히, 자동차 분야에서 기존의 잘 정립되어 있는 CAN 데이터베이스를 그대로 사용할 수 있기 때문에, 구현에 추가적인 비용과 시간이 많이 필요하지 않는 효율적인 방법임을 알 수 있다.

하지만 본 논문은 몇 개의 CAN 노드를 이용하여 간단하게 구현된 실험 모델에서 제안된 메시지 할당 방법의 실현 가능성에 초점을 맞춰서 성능 평가를 수행하였다. 따라서, 실제 자동차 네트워크 시스템의 트래픽 조건, 즉, 주기적 메시

지 및 비주기적 메시지가 발생하는 조건에서 제안된 알고리즘의 성능을 검증하는 연구가 필요하다. 또한, CAN 네트워크의 최적 성능을 구현하기 위하여 제안된 메시지 할당 방법보다 개선된 최적 채널 할당 방법에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

참고문헌

- [1] M. H. Kim, K. C. Lee, and S. Lee, "Kalman predictive redundancy system for fault tolerance of safety-critical systems," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 46-53, 2010.
- [2] K. C. Lee, M. H. Kim, S. Lee, and H. H. Lee, "IEEE-1451-based smart module for in-vehicle networking systems of intelligent vehicles," *Proc. of IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Pusan, Korea, vol. 51, no. 6, pp. 1150-1158, 2002.
- [3] M. H. Kim, S. T. Lee, and J. W. Son, "Age-related physical and emotional characteristics to safety warning sounds: design guidelines for intelligent vehicles," *Proc. of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C*, Daegu, Korea, vol. 40, no. 5, sep. 2010.
- [4] 이재관, 이인식, "지능형 안전 자동차의 기술 개발 동향," *오토 저널*, 제 28권, 제 4호, pp. 22-27, 2006.
- [5] G. Leen and D. Heffernan, "Expanding automotive electronic systems," *Computer*, vol. 35, no. 1, pp. 88-93, 2002.
- [6] 이석, 김만호, 이경창, "차량용 네트워크 기술 연구 동향," *한국정밀공학회 논문집*, 제23권, 제9호, pp. 7-14, 2006.
- [7] G. Cena, A. Valenzano, and S. Vitturi, "Advances, in automotive digital communications," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 27, no. 6, pp. 665-678, 2005.
- [8] Robert Bosch GmbH, "CAN Specification Version 2.0," 1991.
- [9] 연제명, 선우명호, 이우택, "LIN 프로토콜 시간 모델링 및 메시지 응답 시간 해석에 관한 연구," *한국자동차공학회 논문집*, vol. 13, no. 6, pp. 48-55, 2005.
- [10] 이석, 하경남, 이경창, "Controller Area Network의 실시간 서비스 품질 향상을 위한 동적 ID 할당 알고리즘 개발," *한국정밀공학회 논문집*, 제26권, 제10호, pp. 40-46, 2009.
- [11] J. Sommer and R. Blind, "Optimized resource dimensioning in an embedded CAN-CAN gateway," *International Symposium on Industrial Embedded Systems 2007*, pp. 55-62, 2007.
- [12] S. Shaheen, D. Heffernan, and G. Leen, "A gateway for time-triggered control networks," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 31, no. 1, pp. 38-50, 2007.
- [13] M. Shin and M. Sunwoo, "Optimal period and priority assignment for a networked control system scheduled by a fixed priority scheduling system," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 39-48, 2007.
- [14] N. Navet, Y. Song, F. Simonot-Lion, and C. Wilwert, "Trends in automotive communication systems," *Proc. of the IEEE*, France, vol. 93, no. 6, pp. 1204-1223, Jun. 2005.
- [15] R. Cummings, "Easing the transition of system designs from CAN to FlexRay," *SAE Paper No. 2008-01-0804*, 2008.
- [16] S. Lee, D. H. Lee, M. H. Kim, and K. C. Lee, "Traffic-balancing algorithm for CAN systems with dual communication channels to enhance the network capacity," *International Journal of Automotive Technology*, to be printed.
- [17] M. H. Kim, K. N. Ha, K. C. Lee, and S. Lee, "Traffic prediction of CAN network system with dual communication channels," *International Conference on Control, Automation and System 2008*, pp. 397-400, 2008.
- [18] E. S. and Jr., Gardner, "Exponential smoothing: The state of the art-Part II," *International Journal of Forecasting*, vol. 22, no. 4, pp. 637-666, 2006.

김 만 호

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지 제 15권 7호 참조.

이 종 갑

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지 제 15권 7호 참조.

이 석

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지 제 15권 7호 참조.

이 경 창

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지 제 15권 7호 참조.