

동적 ID 할당과 샘플링 주기 결정 기법을 결합한 CAN 기반 제어시스템의 효율적인 네트워크 관리기법

An Efficient Network Management technique in CAN-based Control Systems Using Combined Dynamic ID Allocation and Sampling Period Decision Algorithm

기영훈*, 안봉주*, 정구민**, 안현식***, 김도현***
Young-Hun Ki*, Boung-Ju Ahn*, Gu-Min Jeong**, Hyun-Sik Ahn***, and Do-Hyun Kim***

Abstract - 현재 차량 내 네트워크에서 주로 쓰이는 CAN 프로토콜은 네트워크 내에 다수의 노드가 연결되어 동작하는 경우 우선순위가 낮은 메시지의 전송지연이 심각하게 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 제어 방법들이 제안되어 시험되고 있는데, 본 논문에서는 동적 ID 할당 기법을 연료전지 하이브리드 자동차 네트워크 시스템에 적용하여 각 장치들 간의 메시지 전송 지연문제를 해결 하며, 또한 이로 인해 발생하는 차량 내 네트워크 시스템의 수행 주기 변화의 문제점을 샘플링 주기 결정 기법을 이용하여 효율적으로 해결하였다.

Key Words : CAN, Dynamic ID Allocation, Sampling Period Decision, Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles

1. 서론

최근의 자동차에서는 연비, 동특성, 안전성 및 안락성을 향상시키기 위하여 다양한 전자제어장치(Electronic Control Unit : ECU)들의 적용이 증가하고 있다. 이와 같이 자동차에 많은 전자제어장치들이 적용됨에 따라 이들을 동작시키고, 연결하기 위해 필요한 와이어 하니스(Wire Harness)들의 부피 및 무게가 무시할 수 없을 정도로 증가 되었고, 전자제어장치들이 다수의 센서 및 액추에이터(Actuator) 정보를 공유할 필요성이 발생함에 따라 차량 내 네트워크(In-Vehicle Network) 시스템이 구축되기 시작하였으며, 대표적인 예로 CAN(Controller Area Network)이 있다.

다양한 산업 현장에서 네트워크 기반 제어시스템에 CAN의 적용이 증가함에 따라 CAN 프로토콜의 효율적인 사용을 위한 방안과 문제점을 보완하는 연구들이 진행되고 있다. 우선, MTS(Mixed Traffic Scheduler)라는 스케줄링 기법이 제시되어 메시지를 마감시간(Deadline), 실시간성, 주기성에 따라 분류하여 효율적인 네트워크 사용이 가능하도록 하였다 [1-2]. 또한, 네트워크를 구성하는 노드의 갯수가 증가하여 트래픽이 높아질 경우, CAN 확장 프레임의 ID를 동적으로 할당하는 방법으로, 높은 우선순위의 메시지 때문에 발생하는 낮은 우선순위의 메시지의 전송지연을 줄여주는 기법도 제시되었다 [3-4]. Tindell은 홀리스틱(holistic) 스케줄링 해석기법을 이용하여, CAN을 수학적으로 해석하여, 메시지의 최악 응답시간을 도출하고, 안정적인 CAN 기반 제어시스템을 설계

하는 기법을 제시하였다 [5].

본 논문에서는 동적 ID 할당 기법과 홀리스틱 스케줄링 해석을 이용한 샘플링 주기결정 기법을 결합하여 안정적인 CAN 기반 제어시스템 설계 방안을 제시한다. 제안된 방법의 타당성 및 효율성을 검증하기 위하여 연료전지 하이브리드 자동차에 대한 간단한 시뮬레이터를 구현하고 실제 데이터 송수신을 포함한 실험을 수행한다.

시뮬레이터는 기본적으로 파워트레인 서브시스템들에 대한 수학적 모델링을 이식한 시스템으로 구성되고, 샤시 및 센서 유닛을 가정한 노드들이 추가된다. 가변 주기 결정 기법을 이용하여 주기적으로 수행되는 서브시스템 제어에 대한 실시간성을 보장하고, 동적 ID 할당기법을 이용하여 네트워크에서 낮은 우선순위의 메시지들에 대한 전송지연시간을 효율적으로 관리하는 알고리즘을 제안한다. 또한 실제 실험 결과를 통하여 평균 전송지연시간이 감소하고 네트워크 사용률도 증가됨을 확인한다.

2. 동적 ID 할당 및 샘플링 주기 결정 기법

본 논문에서 제시한 동적 ID 할당 기법은 CAN 메시지 프레임 내의 ID 필드 내에 각 메시지의 전송지연시간을 포함한다. 따라서 기존의 동적 ID 할당 기법이 CAN 메시지의 전송지연시간을 CAN 모니터링 프로그램에 알려주기 위해서 추가적인 CAN 메시지의 전송이 필요한 반면, 본 논문에서 제시되는 기법은 메시지의 전송시간을 측정하여 ID 필드에 삽입하여 보냄으로써, 추가적인 CAN 메시지 전송이 불필요하며, 동적 ID 할당 기법의 구현을 위해 추가해야 할 루틴이 줄어든다. 또한 샘플링 주기 결정 기법을 추가함으로써 주기적으로 동작해야 하는 노드들에 대한 실시간성 보장과 샘플링 횟수의 가변에 의한 추가 데이터의 확보가 가능하게 되었다.

저자 소개

* 國民大學校 電子工學科 碩士科程

** 國民大學校 電子工學科 助教授・通信著者

*** 國民大學校 電子工學科 教授・工博

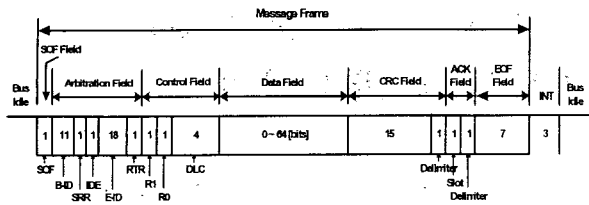


그림 1. 확장 CAN 메시지 프레임.

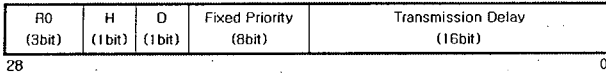


그림 2. 동적 ID 할당 기법의 ID 필드.

그림 1은 확장 CAN 메시지 프레임을 나타내며, 그림 2는 본 논문에서 제시한 동적 ID 할당 기법을 위한 CAN 메시지 프레임의 ID 필드이다. ID 필드내 Transmission Delay 영역은 메시지의 전송지연시간을 포함한 것으로 각 노드가 메시지를 수신할 때 이 영역은 비교하지 않는다. 따라서 ID 필드의 16~28bit의 영역만 이용하여 메시지 전송이 가능하다.

본 논문에서 고려하는 CAN 기반 네트워크 시스템은 그림 3에 나타낸 바와 같다 [6].

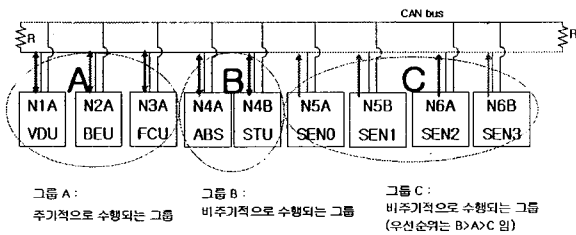


그림 3. CAN 기반 제어 시스템.

그림 3의 시스템에서 그룹 A는 주기적으로 동작하고, 그룹 B와 그룹 C의 노드들은 비주기적으로 버스 점유권을 요청하는 경우를 고려한다. 이는 차량 내의 전자제어 장치들을 가정한 것으로 그룹 A는 파워트레인을 구성하는 노드이며, 그룹 B는 안전에 관련된 노드들로서 우선순위가 높다.

그룹 C는 차량 내에서 빈번하게 발생하는 센서들의 신호를 처리하는 노드들이다. 따라서 그룹 A는 일정한 마감 시간을 만족하면서 주기적으로 동작하여야 하고, 그룹 C의 메시지들은 발생 즉시 전송이 되어야 한다. 시스템 전체의 가변 샘플링 주기와 한주기 수행의 마감 시간은 다음 식(1)에 의해 결정한다[6].

$$R_{end-to-end} = C_{i_{end}} + C_{m_{end}} + J_{total} \quad (1)$$

그룹 C의 메시지들은 그룹 A, B의 메시지에 비하여 우선순위가 낮으며, 일정한 마감시간 내에만 전송되면 된다. 따라서 동적 ID 할당 기법은 위의 조건들을 만족하는 범위 내에서 적용이 되어야 한다.

동적 ID 할당 및 샘플링 주기 결정 기법의 동작을 그림 4의 순서도에 도시하였으며, 각 조건들은 다음과 같이 가정된다.

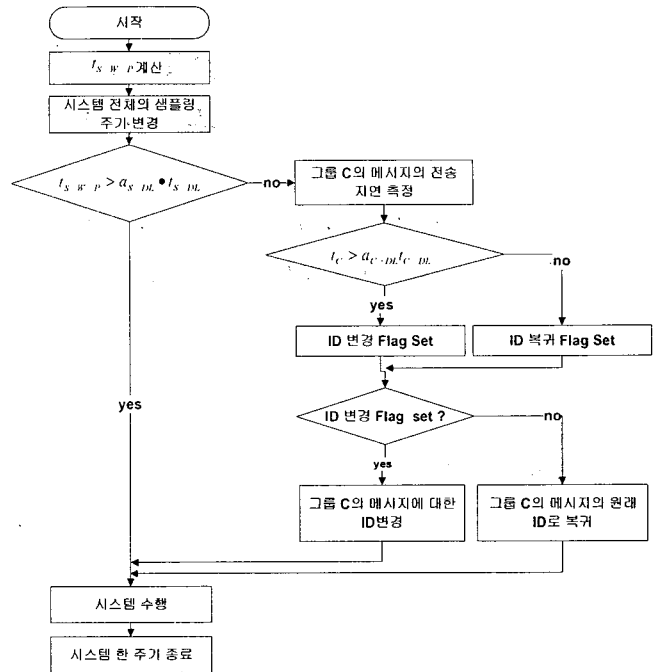


그림 4. 동적 ID 할당 및 샘플링 주기 결정의 순서도

조건 1: $t_{s,A} > a_{s,DL} \cdot t_{s,DL}$

조건 2: $t_{s,A} < a_{s,DL} \cdot t_{s,DL}$ 이고

$t_c > a_{c,DL} \cdot t_{c,DL}$ 인 경우,

조건 3: $t_c < a_{c,DL} \cdot t_{c,DL}$

파라미터 정의

$t_{s,A}$: 시스템 전체 실제 한주기 수행 시간

t_{svp} : 시스템 전체의 가변 샘플링 주기

$t_{s,DL}$: 시스템 전체 한주기 수행의 마감 시간

$a_{s,DL}$: 시스템 전체 한주기 수행의 마감 시간 접근 계수

t_c : 그룹 C의 메시지 전송 지연

$t_{c,DL}$: 그룹 C의 메시지 전송 지연의 마감시간

$a_{c,DL}$: 그룹 C의 메시지 전송 지연의 마감시간 접근 계수

조건 1은 시스템 전체의 실제 한주기 수행 시간이 $a_{s,DL} \cdot t_{s,DL}$ 를 넘어섰을 경우이며, 이는 그룹 A의 동작에 영향을 줄 수 있으므로 그룹 C의 메시지에 대하여 우선순위를 높이는 동적 ID 할당 기법을 적용하지 않는다. 조건 2는 시스템 전체의 실제 한주기 수행 시간이 $a_{s,DL} \cdot t_{s,DL}$ 이하인 경우와 그룹 C의 메시지의 전송지연이 $a_{c,DL} \cdot t_{c,DL}$ 이상인 경우이다. 이는 그룹 A의 동작에 영향을 주지 않으므로 그룹 C에 대한 동적 ID 변경을 시도한다. 조건 3은 그룹 C의 메시지의 전송지연이 $a_{c,DL} \cdot t_{c,DL}$ 이하인 경우로 그룹 C의 메시지가 허용할 수 있는 전송지연이라는 의미이다. 따라서 ID 변경을 하지 않거나 또는 동적 ID 할당을 통하여 변경되었던 그룹 C의 각 ID를 원래대로 복귀시킨다.

3. 테스트 베드의 구성과 실험 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용할 테스트 베드는 그림 5와 같이 연료전지 하이브리드 자동차에 대한 간이 네트워크 시뮬레이터이며, 각 노드는 인피니언사의 XC167CI 마이크로컨트롤러 보드를 사용하였다 [6].

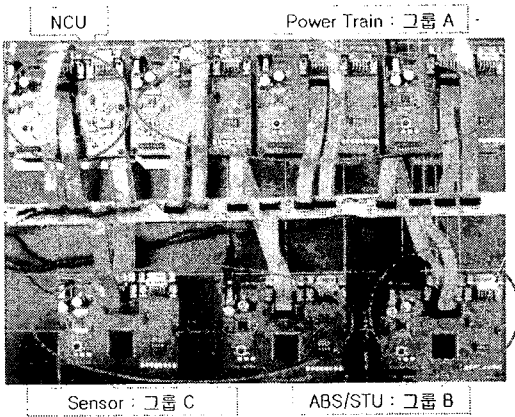


그림 5. 연료전지 하이브리드 자동차의 시뮬레이터.

그림 5에서 NCU(Network Control Unit)는 모든 CAN 메시지를 감시하고, 전체시스템의 주기를 결정하며, 시스템의 시작을 명령한다. 다음과 같은 실험 조건에서 제안된 결합 알고리즘을 적용하였다.

- CAN 전송속도 : 500Kbps
- Group B, C의 전송 주기 : 500usec
- 테스트 수행 시간 : 30sec
- DLC : 8
- 메시지 ID : 표 1 참조

표 1. 각 노드의 Fixed ID

| | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| node | ABS | STU | VDU | BEU | FCU | |
| Fixed ID | 0x11 | 0x12 | 0x13 | 0x14 | 0x15 | |
| node | SEN0 | SEN1 | SEN2 | SEN3 | SEN5 | SEN6 |
| Fixed ID | 0x16 | 0x17 | 0x18 | 0x19 | 0x20 | 0x21 |

그림 6은 동적 ID 할당 기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대하여 30초 동안 테스트가 수행되었을 때의 각 ID의 평균 전송 지연시간을 나타낸 것이다.

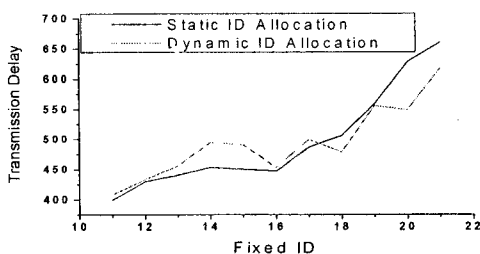


그림 6. 평균 전송 지연시간(usec).

동적 ID 할당 기법을 이용하여 네트워크 내에서 낮은 우선순위를 가진 메시지들에 대한 전송지연이 감소함으로써 전송 기회가 보장되는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 샘플링 주기 결정 기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대한 결과로서, 초당 전송되는 CAN 프레임의 수를 나타낸 것이다. 샘플링 주기결정 기법을 이용함으로써 향상된 CAN 네트워크 관리가 가능함을 알 수 있다.

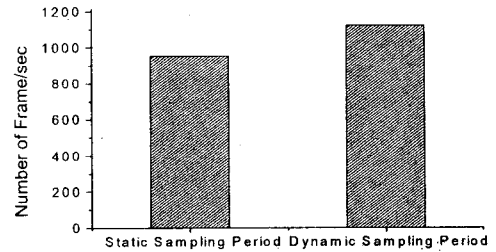


그림 7. CAN 네트워크 사용률

4. 결론

본 논문에서는 CAN기반 제어시스템에서 발생할 수 있는 낮은 우선순위 메시지의 전송지연을 줄여주기 위한 동적 ID 할당 기법을 보완하고 주기적으로 수행되어야 하는 노드들에 대한 실시간성을 보장하기 위해 샘플링 주기 가변 기법을 제시하였다. 또한, 간단한 형태의 네트워크 시뮬레이터에 대한 실험을 통하여 제안된 결합 방법의 효용성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Khawar M. Zuberi and Kang G. Shin, "Scheduling messages on controller area network for real-time CIM applications," *IEEE Trans. Robotics and Autom.*, Vol. 13, No. 2, pp. 310-313, 1997.
- [2] Khawar M. Zuberi and Kang G. Shin, "Design and implementation of efficient message scheduling for controller area network," *IEEE Trans. Computers*, Vol. 49, No. 2, pp. 182-188, 2000.
- [3] Ho-Seek Choi, Jang-Myung Lee, "A Dynamic Precedence Queue Mechanism to Assign Efficient Bandwidth in CAN Networks," *Proc. of IEEE/ASME California, USA*, pp. 1354-1359, 2005.
- [4] 백 경 훈 외, "동적 ID 할당을 이용한 CAN 통신 성능 향상," 한국자동차공학회 전기·전자시스템 부문 Symposium pp.107-113 2006.
- [5] K. W. Tindell and J. Clark, "Holistic schedulability analysis for distributed hard real-time systems," *Microprocessing and Microprogramming*, Vol. 40, pp. 117-134, 1994.
- [6] B. J. Ahn, B. R. Park, Y. H. Ki, G.-M. Jeong, H.-S. Ahn, and D.-H. Kim, "Development of a Controller Area Network Interface Unit and Its Application to a Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle," *Proc. SICE-ICASE Joint Conf.* pp. 5545-5549, 2006.