

# 정적 메시지 재할당을 이용한 FlexRay 네트워크 사용효율 개선 기법

서 병 석<sup>1)</sup> · 진 성 호<sup>2)</sup> · 이 동 익<sup>\*1)</sup>

경북대학교 IT대학 전자공학부<sup>1)</sup> · 대구경북과학기술원 로봇시스템연구부<sup>2)</sup>

## Improving Network Utilization in FlexRay Using Reallocation of Static Message

Byungseok Seo<sup>1)</sup> · Sungho Jin<sup>2)</sup> · Dongik Lee<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>School of Electronics Engineering College of IT Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2)</sup>Robotics Research Division, DGIST, 50-1 Sang-ri, Hyeonpung-myeon, Dalseong-gun, Daegu 711-873, Korea

(Received 24 October 2012 / Revised 25 January 2013 / Accepted 6 March 2013)

**Abstract** : This paper presents a mathematical model to determine the optimal length of static messages that can achieve more efficient use of a FlexRay network. In order to determine the optimal length of static message, the proposed model evaluates the given set of messages with respect to a network utilization index, which is defined in this work. The efficient use of a FlexRay network is achieved by reallocating any static message whose length is equal or greater than the resulting value to the dynamic segment. The effectiveness of the proposed method is investigated by applying to the SAE benchmark data.

**Key words** : FlexRay(플렉스레이), Message scheduling(메시지 스케줄링), Static segment(정적 세그먼트), Network utilization(네트워크 사용효율), Schedulability(스케줄링 가능성)

### Nomenclature

- $R_m$  : worst case response time of message  $m$
- $T_i$  : static slot length to transmit  $i$ -word message
- $T_{APO}$  : transmission time for action point offset
- MT : macrotick
- $u$  : network utilization
- $l_{cycle}$  : length of FlexRay cycle
- $l_{used}$  : length of cycle for message transmission

### 1. 서 론

현대의 자동차 산업은 기계, 전자, 통신, 제어 공학의 발전으로 인하여 사용자의 편의와 안전성을 높이고 보다 쾌적한 주행 환경을 제공하는 방향으로

발전하고 있다. 기존의 운송수단 역할만을 수행하던 자동차는 이제 정보수집, 업무 및 휴식 공간을 제공하는 지능형 자동차(intelligent vehicle)로 급속히 발전하고 있다. 지능형 자동차는 속도, 위치와 같은 차량의 상태와 외부의 환경에 대한 정보가 실시간으로 입력되고 처리될 수 있어야 한다.<sup>1)</sup>

자동차 기술이 점점 발전함에 따라, 기존의 제어 센서뿐만 아니라 사용자의 안전과 편의를 위한 가속도 센서, 비전 센서, 레이더 센서, GPS 센서 등 많은 수의 센서와 그에 맞는 부품들이 장착되고 있다.<sup>2)</sup> 자동차를 제작하는데 사용되는 비용 중에서 전자 부품이 차지하는 비중이 2008년을 기준으로 23% 이상 증가하였고 앞으로는 더욱더 증가할 것으로 예상된다.<sup>3)</sup> 전자 부품의 증가와 함께 센서, 액추에이터와 전자 제어기(ECU : Electronic Control

\*Corresponding author, E-mail: dilee@ee.knu.ac.kr

Unit)를 점 대 점 방식으로 연결하는 기존의 배선 시스템은 배선의 기하급수적인 증가를 비롯한 많은 문제점을 나타내고 있다. 복잡한 배선으로 이하여 새로운 기능을 추가하기 어렵고 차량의 무게가 늘어나 성능을 저해시키는 결과를 초래하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 점 대 점 배선 시스템을 대신하여 네트워크 기반의 제어시스템이 개발되었다. 현재는 윈도우 모더나 도어 락 스위치 등과 같은 차량용 네트워크 프로토콜로 CAN (Controller Area Network)이 사용되고 있다. CAN은 1986년 Bosch사에서 개발한 시리얼 통신 프로토콜로 최대 1Mbps의 데이터 전송률, 다양한 오류 감지 알고리즘 및 메시지 충돌 시 자동 재전송 기능을 가지고 있다.<sup>4)</sup> 하지만 CAN 네트워크 시스템에서 버스 부하가 급격히 증가하게 되면 CAN 특성에 의하여 우선순위가 높은 식별자를 가진 메시지들이 전송 권한을 가지게 되며, 상대적으로 낮은 전송 권한을 가진 메시지들은 전송기회를 잃게 됨으로써 원하는 시간에 메시지 전송이 어려운 단점이 있다. 이러한 단점은 실시간으로 데이터를 처리하는 자동차와 같은 안전중요시스템(Safety-critical system)에서는 큰 위험을 초래할 수도 있다.

CAN 프로토콜의 단점인 메시지의 전송의 확정성과 실시간성을 모두 만족시키기 위하여 BMW, DaimlerChrysler, Motorola 등이 주축이 되어 FlexRay 컨소시엄을 구성하고 FlexRay 네트워크를 개발하였다.<sup>5)</sup> FlexRay는 time-triggered 방식의 정적 세그먼트와 event-triggered 방식의 동적 세그먼트로 구성되어 있다. 정적 세그먼트는 time-triggered 방식으로 동작하여 메시지 전송의 확정성을 만족한다. 하지만 버스 부하가 낮은 경우, 또는 전송하고자 하는 메시지의 길이가 다양한 경우 네트워크의 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 동적 세그먼트는 FTDMA (Flexible Time Division Multiple Access) 방식으로 event-triggered와 같이 메시지 전송이 요구되는 상황에만 메시지를 전송한다. 높은 유연성과 확장성, 낮은 부하에서의 높은 효율성 등의 장점이 있어 정적 세그먼트의 단점을 극복할 수 있다. FlexRay 네트워크의 사용 효율성을 극대화하기 위해서는 특성이

다른 두 세그먼트의 적절한 스케줄링 알고리즘이 필요하다.

FlexRay 네트워크의 효율성을 높이기 위한 방법에는 아래와 같이 4가지가 있다.

- 각 세그먼트로의 메시지 할당
- 메시지 그룹화
- 최적의 네트워크 변수 설정
- 메시지 슬롯 할당

현재까지 연구된 다양한 기법의 스케줄링

Park의 논문<sup>6)</sup>에서는 정적 세그먼트의 최적화 문제를 이용하여 정적 세그먼트의 길이와 FlexRay 사이클 길이를 최적화 하였다. Martin의 논문<sup>7)</sup>에서는 2차원의 Bin Packing을 통하여 네트워크 효율을 증가시켰으며 Ding의 논문<sup>8)</sup>에서는 GA 기법을 활용하여 스케줄링을 수행하였다. 하지만 이러한 기법들은 복잡한 수식과 구현이 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 네트워크 사용 효율을 최대화하기 위하여 동적 세그먼트로의 메시지 재할당이라는 간단하고 구현이 쉬운 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 스케줄링 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 SAE 벤치마크 데이터를 이용한 메시지 그룹을 정의하고 다양한 전송속도에 대하여 성능을 평가하였다.

## 2. FlexRay 네트워크 사용효율을 위한 메시지 재할당 기법

### 2.1 시스템 구성 및 가정

FlexRay 네트워크는 Fig. 1과 같은 시스템에서 통신이 이루어진다. 각 노드는 호스트인 CPU와 CC (Communication Controller)가 CHI(Controllor Host Interface)를 통하여 연결되어 있다. 통신 컨트롤러는 독립적으로 동작하고 있으며 전체 네트워크 구조는 모든 노드가 하나의 채널을 통해 연결된 수평형 버스 토폴로지이다.

스케줄링 알고리즘의 적용과 네트워크 효율을 계산하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 메시지 특성을 가정하였다. 첫째, FlexRay 통신 시스템내의 전송 오류(Error) 및 노드 고장(Failure)은 일어나지

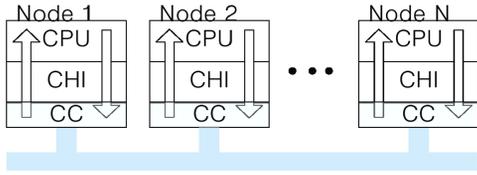


Fig. 1 FlexRay communication model

않는다. 둘째, 전송되는 FlexRay 메시지의 모든 정보는 알고 있다. 메시지 정보는 각 메시지의 우선 순위, 생성주기, 마감시간, 프레임 길이 등이 포함된다.

### 2.2 FlexRay 정적 슬롯 길이 계산

FlexRay 정적 세그먼트 내의 정적 슬롯(Static slot)의 크기는 가장 긴 길이를 가지는 정적 메시지에 의해 결정된다. FlexRay 메시지 프레임은 5바이트의 헤더, 가변의 페이로드, 3바이트의 트레일러로 구성된다. 메시지 프레임이 물리적으로 전송될 경우 추가적인 비트들이 필요하며 결과적으로  $i$ 워드의 데이터를 전송하기 위한 정적 슬롯의 길이는 식 (1)과 같다.

$$T_i = (29 + 20 \times i) \times gdBit + 2 \times T_{APO} \quad (1)$$

식 (1)에서  $i$ 는 정적 메시지가 전송하는 데이터의 바이트 수,  $gdBit$ 는 1비트를 전송하는데 걸리는 시간,  $T_{APO}$ 는 Action point offset의 전송시간이다. 8비트의 메시지를 전달하기 위해서는 2비트의 BSS (Byte Start Sequence)가 추가되기 때문에  $i$ 워드의 데이터를 전송하기 위해서는 총  $20 \times i$ 의 비트가 필요하다. 또한 정적 슬롯을 인코딩하기 위하여 TSS (Transmission Start Sequence), FSS(Frame Start Sequence), FES(Frame End Sequence)의 29비트가 추가로 사용된다.

$$T_{i,MT} = \text{ceil}\left(\frac{(29 + 20 \times i) \times gdBit + 2 \times T_{APO}}{gdMacrotick}\right) \times gdMacrotick \quad (2)$$

FlexRay 전송 사이클은 매크로틱(MT) 단위로 이루어져 있으며, 1MT의 길이는 대략  $1 \sim 6\mu s$ 이다. 따라서 매크로틱 단위를 기준으로 계산한 정적 슬롯의 길이는 식 (2)와 같다.  $gdMacrotick$ 은 1MT의 시간을 나타낸다.

### 2.3 네트워크 사용효율 계산

FlexRay 프로토콜의 정적 세그먼트의 경우 정적 슬롯의 크기가 가장 긴 길이의 정적 메시지에 의해 결정된다. 따라서 서로 다른 길이의 정적 메시지가 많아질 경우 전체 네트워크의 효율은 떨어지게 된다. 본 논문에서는 정적 세그먼트 스케줄링을 통한 FlexRay 네트워크 효율성을 비교하고자 네트워크 사용효율(Network utilization)이라는 개념을 제안하고 이를 기반으로 정적 세그먼트 스케줄링 효율을 분석한다. 네트워크 사용효율을 계산하는 식 (3)은 아래와 같다.

$$u(\%) = \frac{l_{cycle} - usedslot}{l_{cycle}} \times 100 \quad (3)$$

식 (3)에서  $usedslot$ 은 정적 세그먼트의 메시지와 동적 세그먼트로 재할당된 정적 메시지를 전송하기 위해 필요한 슬롯의 길이를 의미하고,  $l_{cycle}$ 은 FlexRay 네트워크의 전체 사이클 길이를 의미한다. 네트워크 사용 효율은 정적 메시지를 기준으로 계산한 식으로 동적 세그먼트의 효율은 적용하지 않았다.

### 2.4 메시지 재할당을 이용한 기존 기법

Kang이 제안한 정적 메시지 재할당을 이용한 기법은 FlexRay 네트워크 프로토콜의 가장 긴 길이의 정적 메시지에 의해 정적 슬롯의 길이가 결정되는 정적 세그먼트 특성을 이용한 기법이다.<sup>9)</sup>

Fig. 2는 스케줄링을 하지 않은 경우, (b)는 기존의 제안된 스케줄링을 적용한 그림이다. (b)의 경우 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당함으로써 Used slot이 줄어드는 것을 나타낸다. Used slot은 메시지를 전송하기 위하여 사용된 네트워크 길이를 mini

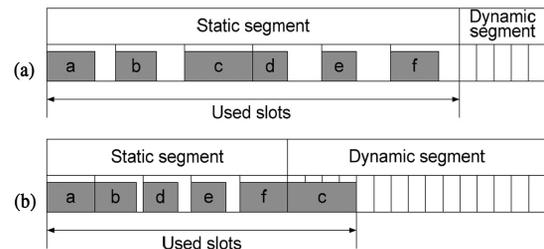


Fig. 2 Static message allocation into dynamic segment

slot을 기본단위로 계산한 값이다. Used slot의 크기가 작을수록 FlexRay 전체 네트워크의 사용효율은 증가하게 된다. 제안된 기법은 가장 긴 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당함으로써 네트워크의 사용효율을 증가시킨다. 이러한 스케줄링 기법은 스케줄가능성을 만족시키지 못하거나 더 이상 정적 세그먼트에서 동적 세그먼트로 이동시킬 메시지가 없는 경우가 나타날 때까지 반복적으로 이루어진다.

가장 긴 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당하는 기법은 FlexRay 프로토콜의 정적 세그먼트 특성을 이용하여 전체 네트워크의 사용효율을 증가시켰다. 이는 서로 다른 전송시간을 가지는 메시지의 전송효율이 떨어지는 정적 세그먼트의 단점을 극복하는 스케줄링 방법이다.

하지만 정적 메시지의 크기와 수의 변화에 따라 최대의 효율을 가지는 최적문제에 대한 고려가 없다. Fig. 3은 스케줄링 기법에 의한 used slot의 길이를 나타낸다. (a)의 경우 스케줄링을 적용하지 않았을 경우이고 (b)는 기존의 스케줄링 기법을 적용하였을 경우이다. 하지만 (c)와 같이 가장 긴 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트에 할당하는 기존의 기법보다 보다 많은 수의 짧은 메시지를 동적 세그먼트로 할당하는 경우 최소의 Used slot, 즉 최대의 사용효율을 나타내는 경우가 발생한다. 또한 정적 메시지의 경우 주기적인 특성을 가지게 되는데 동적 세그먼트로의 할당을 통하여 정적 메시지의 전송지연에 대한 변화를 고려하지 않았다. 이러한 변화를 고려하지 않는 경우 메시지 전송 도중 딜레이가 발

생하여 메시지가 정해진 시간 안에 전송되지 못하는 경우가 생기게 된다. 정해진 시간 안에 메시지 전송을 보장할 수 없는 경우는 스케줄링이 실패했다고 볼 수 있으며 가장 긴 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당할 수 없고 스케줄링이 종료된다.

따라서 본 논문에서는 정적 메시지의 최적화 문제를 통하여 최대의 사용효율을 나타내는 메시지 길이를 찾고, 이를 이용한 스케줄링 기법을 제안하였다.

### 2.5 정적 세그먼트 스케줄링 기법 제안

본 논문에서는 FlexRay 네트워크 사용효율 개선을 위한 정적 세그먼트 스케줄링 기법을 제안했다. 메시지 스케줄링 기법은 모든 FlexRay 메시지는 최대 응답 시간을 계산하여 스케줄링이 가능한 범위 내에 있고 네트워크 사용효율이 증가하는 조건 하에서 반복적으로 수행된다. 또한 네트워크의 모든 값들은 FlexRay 프로토콜 설계 명세서(Specification)<sup>5)</sup>의 내용을 토대로 한다.

정적 세그먼트 스케줄링 기법은 Fig. 4의 흐름도로 실행된다. 스케줄링 기법의 초기 상태에는 FlexRay 네트워크 파라미터 값을 입력 받는다. 입력된 파라미터 값에는 FlexRay 노드에 대한 정보, 네트워크 전송 속도, FlexRay 메시지에 대한 정보가 포함된다. 이러한 정보의 수집이 끝나면 정보를 토대로 초기의 네트워크 구성을 수행한다.

초기 네트워크의 구성은 메시지의 할당, 각 메시지의 ID 할당, 스케줄링의 가능성(Schedulability) 및 네트워크의 사용효율 계산으로 이루어진다. 스케줄링 가능성(s)은 메시지의 최대 응답 지연 계산을 통하여 결정된다. FlexRay 전송 메시지는 생성주기와 마감시간을 가지고 있다.<sup>10)</sup> 즉 메시지의 최대 응답 지연 시간이 메시지의 마감시간 시간을 넘게 되면 메시지의 스케줄링은 실패하게 되며 해당 메시지에 대한 정보를 받을 수 없게 된다. FlexRay 동적 메시지의 최대 전송지연 시간 분석 모델은 식 (4)와 같다.<sup>11)</sup>

$$R_m = \sigma_m + w_m + C_m \tag{4}$$

$R_m$ 은 메시지의 최대 전송지연 시간을 나타내며  $\sigma_m$ 은 메시지의 전송지연이 생긴 시점부터 해당 사

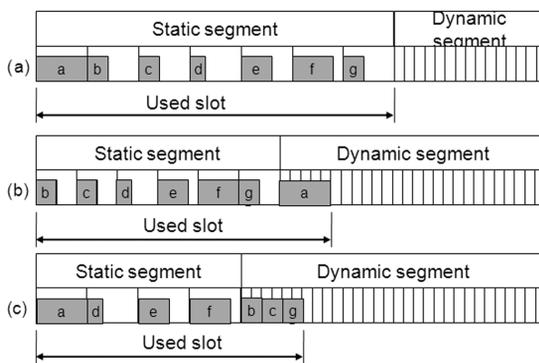


Fig. 3 Comparison of used slot for various scheduling method

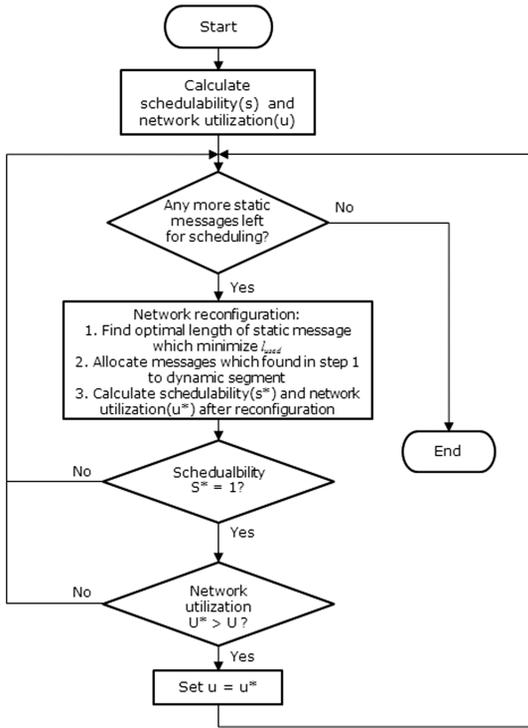


Fig. 4 Flow chart of proposed scheduling algorithm

이클이 끝날 때까지의 시간이다. 최대 전송지연 시간이 발생하려면  $\sigma_m$ 의 값이 최대가 되어야 한다.  $\sigma_m$ 의 값이 최대가 되기 위해서는 메시지  $m$ 이 위치한 슬롯 이전의 슬롯에서 메시지 전송 실패가 일어나야 하며 이 경우  $\sigma_m$ 은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\sigma_m = T_{bus} - (ST_{bus} + FrameID_m \times gdMiniSlot) \quad (5)$$

식 (5)에서  $T_{bus}$ ,  $ST_{bus}$ ,  $FrameID_m$ ,  $gdMiniSlot$ 은 각각 FlexRay 사이클 듀레이션, 정적 세그먼트 사이클 듀레이션, 메시지  $m$ 의 프레임 아이디, 미니슬롯 듀레이션을 나타낸다.  $w_m$ 은 지연이 발생한 다음 사이클부터 해당 메시지의 전송시작 시점까지의 시간이다.  $w_m$ 은 크게 두 가지 요소로 나눌 수 있다. 첫 번째는 메시지가 전송한 사이클 시작 시점부터 메시지 전송 시점까지의 시간으로  $w'_m$ 으로 나타낸다. 두 번째는 메시지의 전송지연이 발생한 사이클과 전송이 이루어진 사이클을 제외한 사이클 사이의 시간이다. 두 가지 요소를 함께 식으로 나타내면 식 (6)으로 나타낼 수 있다. 식 (6)에서  $BusCycle_m$ 은 전

송지연이 발생한 사이클과 전송이 이루어진 사이클을 제외한 사이클 사이의 시간을 나타낸다.

$$w_m = T_{bus} \times Buscycles_m + ST_{bus} + w'_m \quad (6)$$

마지막으로  $c_m$ 은 메시지  $m$ 이 전송되기 이전 시점에 해당 사이클의 동적 세그먼트에서 전송된 메시지의 전송 시간을 의미한다.

식 (4)에서 구해진 메시지의 최대 전송지연 시간이 해당 메시지의 마감시간을 넘지 않을 경우 식 (7)과 같이 스케줄링 가능성을 나타내는 불린 값 변수  $s$ 를 1로 나타내고 그렇지 않은 경우를 0으로 나타낸다. 스케줄링 가능성( $s$ )의 값을 통해서 FlexRay 네트워크 스케줄링의 가능 여부를 나타낸다. 식 (6)에서  $d_m$ 은 메시지  $m$ 의 마감시간을 나타낸다.

$$s = \begin{cases} 1 & \text{for } R_m \leq d_m \\ 0 & \text{for } R_m > d_m \end{cases} \quad (7)$$

최대의 네트워크 사용효율을 나타내는 정적 메시지의 길이를 검출 하는 방법은 식 (8)과 같다.

$$l_{used} = n_i \times (l_i - l_m) + \left( \sum_{k=1}^m n_k \right) \times l_m, \text{ if } i < m \quad (8)$$

$$l_{used} = l_{m-1} \times \sum_{k=1}^{m-1} n_k + l_i \times n_i, \text{ if } i = m$$

$m$ 개의 메시지 크기를 가진 다양한 메시지가 순서대로 나열되어 있다고 가정했을 경우, 위 식 (8)에서  $l_{used}$ 는 메시지 전송을 위하여 사용된 슬롯의 길이를 나타내고,  $l_i$ 는  $i$ 번째 메시지의 길이를 나타낸다.  $n_i$ 는  $i$ 번째 메시지와 길이가 같은 메시지의 숫자를 의미한다.  $m$ 개의 길이를 가지는 메시지들을 순차적으로 선택하여 이를 동적 세그먼트로 할당 하였을 경우, 메시지 전송에 사용되는 슬롯의 길이를 비교하여 가장 작은 슬롯의 길이를 사용하는 메시지의 길이를 찾아낸다.

네트워크의 초기 구성이 끝나면 네트워크 사용효율을 높이기 위하여 다음과 같은 단계로 스케줄링이 진행된다.

- 1) 최대의 네트워크 사용효율을 나타내는 정적 메시지의 길이, 즉  $l_{used}$ 가 가장 작은 메시지의 길이를 검출
- 2) 단계 1에서 구해진 길이의 메시지를 동적 세

그먼트로 할당 후 네트워크 구성 변경  
 3) 네트워크 구성 변경 후 스케줄 가능성과 네트워크 사용효율 계산

네트워크 스케줄링이 끝나게 되면 스케줄 가능성과 네트워크 사용효율이 계산되어진다. 계산된 값이 스케줄 가능성을 만족하고 네트워크 사용효율이 증가되었을 경우, 스케줄링 기법을 반복적으로 수행한다. 스케줄 가능성을 만족하지 못하거나 더 이상 정적 세그먼트에서 동적 세그먼트로 할당 시킬 메시지가 없는 경우 스케줄링을 종료한다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션 구성

제안된 스케줄링 기법의 타당성을 검증하기 위하여 Matlab을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 단계별로 스케줄링이 끝난 후, 모든 메시지가 최소한 한 번의 전송이 완료 될 때까지 FlexRay 통신을 수행한다. 모든 메시지의 전송이 완료된 이후 메시지 전송에 사용된 슬롯의 길이와 FlexRay 네트워크의 전체 사이클 길이를 측정하였다. 본 논문에서 사용되는 메시지들은 주기성을 가지는 정적메시지이므로 Table 2의 주기가 가장 긴 100ms의 마지막 메시지가 전달될 때까지 짧은 주기의 메시지들은 지속적인 전송이 이루어진다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들은 모두 FlexRay 설계 명세서에 제시된 범위 내의 값들을 사용하였고, 이는 Table 1에 나타내었다. FlexRay 사이클 타임의 경우 메시지 전송주기의 최대공약수인 5ms로 정의하였다.

스케줄링 기법의 성능을 평가하기 위하여 SAE (Society of Automotive Engineers) 벤치마크 데이터<sup>12)</sup>를 사용하였다. SAE 벤치마크 데이터는 차량 제어 시스템에 사용되는 53가지의 신호를 포함하고 있으

며 각 신호에 대한 데이터 크기, 전송 주기, 전송 노드 등의 정보를 가지고 있다. FlexRay 메시지 프레임 전송을 위해서는 2.2절에서 보인 것과 같이 총 8바이트의 오버헤드가 발생한다. 각 메시지를 하나의 프레임에 할당할 경우 오버헤드는 메시지의 개수만큼 증가하게 된다. 이는 FlexRay 네트워크의 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 메시지의 전송을 보장할 수 없도록 한다. 프레임 오버헤드를 줄이기 위해 스케줄링 이전에 메시지 프레임 패키징을 수행하여 총 18개의 메시지 프레임을 정의하였다. 프레임 패키징은 같은 전송 노드와 생성주기를 가진 메시지를 같은 프레임으로 패키징하였고 결과는 아래의 Table 2와 같다.

메시지 프레임의 페이로드는 워드(1워드 = 2 바이트) 단위로 표시하였고 프레임의 길이는 MT 단위로 나타내었다. 프레임 패키징의 결과 중 주기가 1000ms인 16, 17, 18번 메시지 프레임의 경우 FlexRay 사이클 타임이 5ms인 현재의 시스템 구성에 있어 매 200 사이클마다 한 번씩 전송이 이루어진다.

하지만 이는 FlexRay 프로토콜 설계 명세서에서 지원하지 못하므로 16, 17, 18번 메시지 프레임은 초

Table 2 FlexRay message frame packing for performance evaluation

Frame Number	Size (words)	Period (ms)	Dead line (ms)	Frame length (MT)			
				1M bps	2.5M bps	5M bps	10M bps
1	1	5	5	79	50	40	35
2	1	5	5	79	50	40	35
3	1	5	5	79	50	40	35
4	1	5	5	79	50	40	35
5	1	5	5	79	50	40	35
6	1	50	5	79	50	40	35
7	1	10	10	79	50	40	35
8	1	20	20	79	50	40	35
9	2	50	20	99	58	44	37
10	4	50	20	139	74	52	41
11	3	50	20	119	66	48	39
12	6	50	20	179	90	60	45
13	2	100	100	99	58	44	37
14	1	100	100	79	50	40	35
15	1	100	100	79	50	40	35
16	2	1000	1000	99	58	44	37
17	1	1000	1000	79	50	40	35
18	1	1000	1000	79	50	40	35

Table 1 FlexRay communication parameters

파라미터	값
사이클 타임	5 ms
정적 세그먼트	3 ms
동적 세그먼트	2 ms
미니 슬롯의 수	1000
미니 슬롯의 길이	2 MT
gdMacrotick	1 μs

기 네트워크 구성을 위하여 동적 세그먼트로 할당 되었다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

3.1 절에서 설정한 FlexRay 파라미터와 SAE 벤치마크 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 전송 속도가 10Mbit/s 일 때, 정적 세그먼트의 15개의 메시지 프레임 셋에 대하여 최대의 네트워크 사용효율을 나타내는 메시지 프레임의 길이를 식 (8)을 이용하여 계산하면 결과 값은 1 워드이다. 1워드 길이를 갖는 정적 메시지 프레임들을 동적 세그먼트로 할당한 후 네트워크 이용효율을 계산하면 93.24 %로 네트워크 사용효율이 증가함을 알 수 있다. 진행된 스케줄링에 대하여 반복적으로 스케줄링을 실행한다. 초기 단계와 마찬가지로 식 (8)을 이용하여 최대 효율을 나타내는 메시지 프레임의 길이를 계산하면 그 결과 값이 6워드이다. 6워드 길이의 정적 메시지 프레임을 동적 세그먼트로 할당한 후 다시 스케줄 가능성과 네트워크 사용효율을 계산한다. Table 3은 10Mbit/s의 전송 속도에 대한 초기 네트워크 구성과 스케줄링이 진행되는 과정에 따른 네트워크 파라미터 및 사용효율의 변화를 나타낸다. 스케줄링 과정에 의하여 정적 슬롯의 크기, 정적 슬롯의 수가 변화하고 네트워크 사용효율은 증가하

Table 3 The change of parameters and network utilization in static segment by scheduling algorithm (transmission speed 10Mbit/s)

과정	초기	진행		종료
스케줄링 기법의 동작 상태	16,17,18	1,2,3,4, 5,6,7,8, 14, 15, 16,17, 18	1,2,3,4, 5,6,7,8, 12, 14, 15,16, 17,18	1,2,3,4, 5,6,7,8, 9,12,14, 13,15,16, 17,18
최대 효율의 메시지 길이 (단위: Words)	1	6	2	2
정적 슬롯의 크기 (단위: MT)	90	90	74	66
사용한 정적 슬롯의 수	11520	6760	6648	6584
FlexRay 네트워크 사용효율(u) (단위: %)	88.48	93.24	93.35	93.42

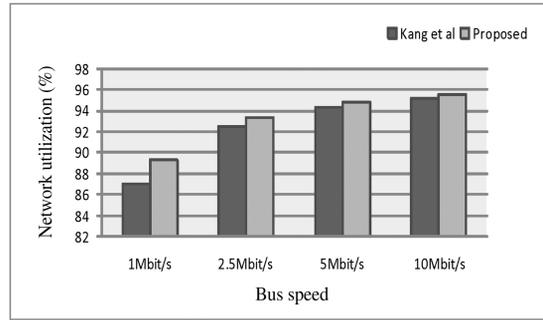


Fig. 5 Comparison of network utilization between Kang's and proposed scheduling method

는 것을 볼 수 있다.

반복적인 스케줄링 기법을 통하여 FlexRay의 네트워크 사용효율이 93.42% 만큼 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 전송 속도가 10Mbit/s 뿐만 아니라 1Mbit/s, 2.5Mbit/s, 5Mbit/s 에서도 스케줄링 기법을 적용하면 네트워크의 사용효율이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 5는 여러 전송 속도에 대한 스케줄링 결과를 최대 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당하는 기존의 연구 기법<sup>9)</sup>과 비교하여 나타낸 그래프이다. 그래프에서 확인 할 수 있듯이 모든 전송 속도에 대해서 FlexRay 네트워크 사용 효율이 기존의 스케줄링 기법보다 증가한 것을 볼 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 고 신뢰성 제어를 위한 통신 프로토콜인 FlexRay의 정적 세그먼트 스케줄링 기법을 다루었다. 논문에서 제안한 스케줄링 기법은 FlexRay 통신 프로토콜의 정적 세그먼트 슬롯 길이가 가장 긴 길이의 정적 메시지 프레임에 의해서 결정되는 속성을 이용하였다. 길이가 다양한 정적 메시지의 전송으로 인한 전체 네트워크의 사용효율 저하를 최소화하기 위하여 최대의 네트워크 사용효율을 가지는 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당하도록 하였다. 이를 위하여 FlexRay 메시지 프레임이 물리 계층에서 전송되는 시간 및 정적 슬롯의 크기를 정의하였으며, 성능 분석을 위하여 SAE 벤치마크 데이터를 패키징하여 사용하였다. 메시지 프레임 패키징에서 정의한 4가지의 전송 속도에 대하여 네트워크

사용효율이 모두 증가한 것을 확인하였고, 이전의 최대 길이의 정적 메시지를 동적 세그먼트로 할당하는 기법과 결과를 비교함으로써 제안한 스케줄링 기법의 효용성을 검증하였다. 현재까지의 연구는 Matlab을 이용한 시뮬레이션이었으나 CANalyzer, FlexRay, CANoe, FlexRay, VN3600 FlexRay Interface 등을 통한 실험적 검증이 이루어져야 한다. 추후에는 보드를 이용한 실험적 검증 및 동적 구간에서의 메시지 프레임 전송 특성을 고려한 응답 시간 분석 및 스케줄링 알고리즘, 최적의 네트워크 변수 설정을 연계한 네트워크 사용 효율 향상에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0401-13-1006).

## References

- 1) 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," Proceedings of IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.51, No.6, pp.1150-1158, 2002.
- 2) J. K. Lee and I. S. Lee, Intelligent Advanced Safety Vehicle Technology Development, Auto Journal, KSAE, Vol.28, No.4, pp.22-27, 2006.
- 3) G. Leen and D. Heffernan, "Expanding Automotive Electronic Systems," IEEE Computer, Vol.35, No.1, pp.88-93, 2002.
- 4) CAN in Automation, CAN Specification 2.0B, <http://www.cancia.org/can>, 2005.
- 5) FlexRay Consortium, FlexRay Communications System Protocol Specification (Ver. 2.1), (Rev. A), 2005.
- 6) I. Park and M. Sunwoo, "FlexRay Network Parameter Optimization Method for Automotive Applications," Industrial Electronics, IEEE, Vol.58, No.4, pp.1449-1459, 2011.
- 7) M. Lukasiewicz, M. Glaß and P. Milbredt, "FlexRay Schedule Optimization of the Static Segment," Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis, pp.363-372, 2009.
- 8) S. Ding, N. Murakami, H. Tomiyama and H. Takada, "A GA-based Scheduling Method for FlexRay Systems," Proceedings of the 5th ACM International Conference on Embedded Software, pp.110-113, 2005.
- 9) M. Kang, K. Park and B. Kim, "A Static Message Scheduling Algorithm for Reducing FlexRay Network Utilization," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1287-1291, 2009.
- 10) E. G. Schmidt and K. Schmidt, "Message Scheduling for the FlexRay Protocol: The Dynamic Segment," IEEE Transactions on Vehicular Technology Society, Vol.58, No.5, pp.2160-2169, 2009.
- 11) P. Pop, P. Eles and Z. Peng, "Bus Access Optimization for Distributed Embedded Systems Based on Schedulability Analysis," Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, pp.567-575, 2000.
- 12) SAE, Class C Application Requirements, SAE Handbook, Vol.2, pp.23.266-23.272, Society of Automotive Engineering, 1994.