

동적 우선순위 할당 기법을 이용한 ISO 11783 통신의 실시간성 향상

Improvement of Real-time Performance of ISO 11783 Network by Dynamic Priority Allocation Method

이상화, 김유성, 이승걸, 박재현*
(Sang-wha Lee¹, Yoo-Sung Kim², SeungGol Lee², and Jaehyun Park²)

¹Telechips Inc.

²Inha University

Abstract: The international standard, ISO-11783, was designed for the communication within an agriculture machinery. Even if it is based on the CAN (Control Area Network) protocol, its extended features which include point-to-point communication and large data transmission support show different network performance from the standard CAN. This paper proposes a dynamic priority allocation method to improve the real-time performance of ISO-11783. Computer simulation shows reduction of the deadline-missed cases and community latency via proposed algorithm.

Keywords: ISO 11783, CAN (Controller Area Network), real-time communication, dynamic priority allocation

1. 서론

작물농업에 사용되는 트랙터를 비롯한 다양한 형태의 농기계 발달은 최근들어 높은 정밀성과 더불어 전자적 제어기능의 복합화와 상호 교차 제어 시스템의 필요성을 요구하게 되었고, 이를 위하여 1986년 독일에서는 DIN9864 표준으로 농업버스시스템(LBS)을 제정하였다. 이는 농업 기계 글로벌화에 따라 국제표준인 ISO 11783 표준으로 진화하였으며 그림 1은 전형적인 ISO 11783 버스 구조를 보인다[1,2].

ISO 11783은 물리적 계층과 MAC (Media Access Control) 계층은 CAN 버스의 확장판인 2.0B버전과 동일하며, 데이터링크 계층에서는 표준 CAN 버스의 브로드캐스팅 형태의 통신방법과 더불어 특정 컨트롤 유닛(ECU: Electronic Circuit Unit)에만 메시지를 전송하는 일대일(point-to-point) 전송이 가능하도록 확장 하였다. 또한 표준 CAN 버스가 최대 8바이트(bytes)의 비교적 적은 데이터 패킷만을 전송할 수 있는데 반하여 ISO 11783에서는 데이터크기가 큰 패킷의 경우 여러 패킷으로 나누어 최대 1785바이트까지 전송할 수 있도록 규정되어 있다[2].

ISO 11783의 MAC 계층은 CAN 버스의 MAC 계층과 동일하게 버스가 유힘(Idle) 상태에 있을 때 모든 노드들이 언제든지 메시지 전송이 가능하며 동시에 여러 노드에서 메시지를 전송하여 버스상에서 메시지 충돌이 발생하는 경우 메시지의 우선순위를 기준으로 정해진 메시지 ID에 따라 CSMA/

NBA (Carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration) 방법을 통하여 가장 우선순위가 높은 메시지 ID를 가진 메시지가 전송되도록 하고 있다[3].

표준 CAN 버스에서는 메시지 ID(우선순위)를 11비트 또는 29비트로 규정하고 있는데, ISO 11783에서는 CAN 2.0B의 29비트 메시지 ID 중, 3비트만을 우선순위(priority)로 사용함으로써, 각 PDU (Protocol Data Unit) 타입별로 8단계의 우선순위만을 두고 있다. 따라서 같은 우선순위를 가지는 데이터가 다수 존재할 수 있는 가능성이 많으며, 같은 우선순위의 데이터인 경우 데이터 포맷(PDU Format)과 기기주소(source address)에 따라 전송 우선순위가 정해지게 된다. ISO 11783의 데이터 패킷은 CAN과 달리 큰 용량의 데이터(9~1785 bytes)를 나누어 전송할 수 있으므로, 이 경우 동일한 우선순위의 작은 패킷은 멀티패킷의 전송이 완료될 때 까지 전송기회를 놓치게 되어 긴 시간동안 데이터 전송이 이루어지지 않아 실시간성에 영향을 줄 수 있는 가능성이 발생하게 된다. 이러

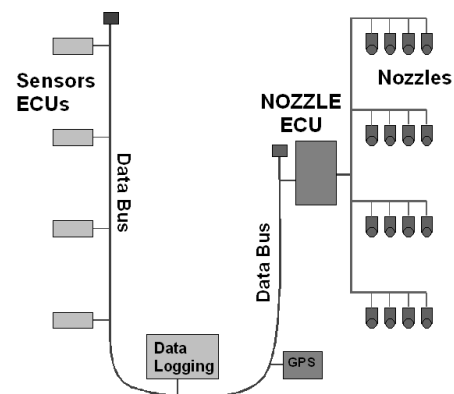


그림 1. ISO 11783의 공유버스 구조.
Fig. 1. Structure of ISO 11783 shared bus.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 1. 12., 수정: 2012. 6. 2., 채택확정: 2012. 7. 9.

이상화: 텔레칩스 연구원(swlee@emcl.org)

김유성, 이승걸, 박재현: 인하대학교 정보통신공학과

(yskim@inha.ac.kr/sglee@inha.ac.kr/jhyun@inha.ac.kr)

※ 본 연구는 2011년도 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 원전기술혁신사업 연구과제임(과제번호: 2010161010001G).

한 현상은 메시지의 전송 우선순위를 각 메시지마다 고정된 우선순위를 매기는 CAN 버스의 고유한 특성으로 인하여 발생하는 현상이며, 자동차와 같이 짧은 제어 및 감시 신호를 브로드캐스팅 방식으로 운용하는 응용에서는 큰 문제가 발생하지 않으나, 메시지 길이가 가변적이고 경우에 따라서는 대용량의 메시지를 전송하며 브로드캐스팅 이외에 일대일 (point-to-point) 방식의 전송이 가능한 ISO 11783 통신망에서는 실시간성 측면에서 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있다. 예를들어 농기기의 동작 로그나, 파라미터블록, 설정치 (configuration), 제어기의 프로그램의 다운로드 등과 같이 최대 1785바이트까지 전송될 수 있는 매우 긴 데이터 패킷이 전송되고 있는 경우 동일한 우선순위 혹은 낮은 우선순위의 짧은 패킷은 현재 전송중인 데이터 패킷이 모두 전송될 때까지, 전송이 지연되므로 실시간성, 즉 전송 데드라인을 넘길 가능성이 존재한다. 만일 이를 방지하기 위하여 짧은 데이터 패킷의 우선순위를 처음부터 조정한다면, 다른 데이터 패킷이 지연되거나, 특정 우선순위로 많은 데이터 패킷이 집중되는 우선순위 집중화 현상 및 비대칭 현상이 발생할 수 있다.

이와 같은 문제점은 ISO 11783의 기초가 되는 CAN (Control Area Network)의 메시지를 사전에 고정적인 우선순위를 부여하기 때문에 발생하는 문제이다[4-6]. 이를 해결하기 위한 방법으로 확률적인 접근방법으로 메시지의 도착시간을 예측하는 방법[7-9]과 CAN 메시지의 우선순위를 동적으로 변화시키는 방법을 통하여 실시간성을 높이는 연구도 진행되었다[10,11]. 또한 복수개의 CAN 채널을 가지고 데이터를 분산시키는 방법과 같은 연구도 진행되었다[12]. 그러나 이러한 연구들은 표준 CAN에 대한 연구들로, 앞서 지적한 바와 같이 ISO 11783만이 가지는 CAN과의 차이를 고려하지 않은 연구들이며, 비교적 최근에 정의된 ISO 11783에 대한 연구는 매우 제한적으로 발표되었다[13].

본 논문에서는 ISO 11783에서 채택하고 있는 CAN 버스의 고정 우선순위 MAC을 개선하여 대용량 데이터 전송시 발생할 수 있는 실시간 데이터의 전송지연을 줄이고 실시간성을 향상시키기 위해 동적 우선순위 할당 기법을 제안한다.

II. 동적 우선순위 기반 통신 설계

1. 동적 우선순위 할당을 위한 ISO 11783 패킷 포맷

ISO 11783에서의 메시지 포맷은 CAN 2.0B 와 동일한 구조를 가지며 그림 2와 같다[2,3]. PDU의 포맷은 크게 도착지 주소를 지정할 수 있는 PDU1 포맷과, 그룹 전송을 위한 PDU2 포맷으로 나뉘는데 PDU1은 PF (PDU Format) 번호가 239이하를 말하며 PDU2는 PF번호 240 이상을 의미한다. PDU1 포맷의 경우 PS (PDU Specific) 영역은 패킷의 도착지 주소를 의미하며 이 경우 일대일 통신이 가능하다.

본 논문에서는 동적 우선순위 할당 기법(dynamic priority allocation)을 이용하여 ISO 11783 통신의 실시간성을 향상시킬 수 있도록 한다. 동적 우선순위 할당 기법은 각 메시지들의 버스활용도(utilization)를 바탕으로 자신의 메시지가 전송될 시간을 결정하고 그에 따라 우선순위의 값이 동적으로 변화하게 된다. 이렇게 우선순위가 변화하면서 초기 우선순위가 낮은 메시지들에게도 전송기회가 주어지게 되고, 결과적으로 메시지들의 전송 지연이 줄어들어 실시간성이 향상된다.

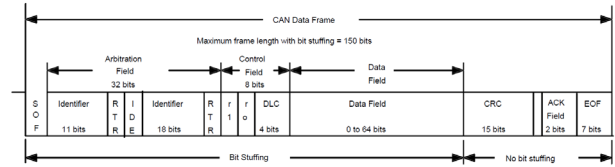


그림 2. CAN의 데이터 프레임 포맷.

Fig. 2. CAN data frame format.

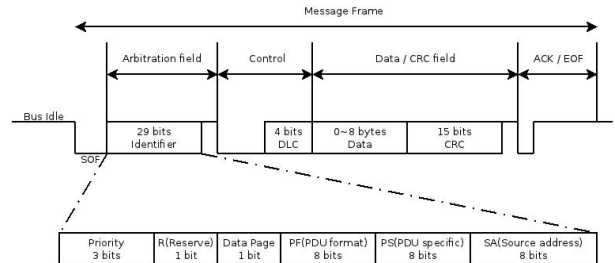


그림 3. 동적 우선순위 데이터 프레임 포맷.

Fig. 3. Data frame format for dynamic priority.

본 논문에서는 ISO 11783 표준과 호환성을 유지하기 위하여 그림 3에서 보이는 패킷 형태는 그대로 유지하며, 4번째 비트인 Reserve 비트를 이용하여 동적 우선순위를 할당하였다. R비트가 1의 경우 표준 ISO 11783패킷을 의미하며 R비트가 0의 경우 본 논문에서 제안한 동적 우선순위에 따른 전송을 의미한다. R비트가 0의 경우, 즉 동적 우선순위 전송의 경우 PF영역 8비트는 동적 우선순위를 의미하게 되는데, 일대일 전송의 경우(PDU1) 동적 우선순위는 0에서 239까지 변화하며, 그룹전송의 경우(PDU2)는 240에서 255까지의 동적 우선순위를 가진다.

시스템에서 발생하는 메시지는 성격에 따라 하드 리얼타임, 소프트 리얼타임, 비실시간 메시지로 구분하였으며, 각각은 동적 우선순위 비트의 최상위 2비트를 메시지 타입 필드 (message type field)로 활용하여 구분하였다. 따라서 그룹전송의 경우, 일대일 전송의 최상위 우선순위와 동일하거나 높은 우선순위를 가지게 되는데, 이는 ISO11783의 기본 개념과 일치한다. 이와같이 PF 영역의 상위 2비트를 메시지 타입으로 사용하는 경우, 각 메시지 타입은 최대 64단계의 우선순위를 가질 수 있도록 구성된다.

2. 동적 우선순위 할당 기법

동적 우선순위 할당 기법의 기본적인 동작 방식은 메시지의 현재까지의 전송시간과 각 메시지들의 전송제한시간 (deadline)의 비교를 통해서 우선순위를 동적으로 재설정하는 방법으로 이루어 지도록 하였다. 이와 같은 방법은 각각의 노드에서 전송하고자 하는 메시지의 전송지연 시간만을 이용하여 우선순위를 변화하도록 하여 네트워크 전체적인 동기화가 필요 없이 구현할 수 있다는 장점이 있다.

공유 버스의 총 활용도(utilization) U 는 다음과 같이 각 메시지들의 버스활용도의 합으로 나타낼 수 있다.

$$U = \sum_{i=1}^N U_i = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{T_i} \leq 1 \quad (1)$$

여기서 C_i 는 메시지 i 의 전송시간이고, T_i 는 메시지 i 의 주

기이다. 총 버스활용도가 1보다 크게 되면 데드라인을 만족시키지 못하는 메시지가 반드시 하나이상 존재하게 되므로 1보다 작거나 같다고 가정한다. 다음 식 (2)와 같이 메시지 i 보다 높은 우선순위의 메시지들이 i 의 주기에서 각 메시지들의 버스활용도만큼의 시간만 할당 받게 되면 메시지 i 는 자신의 주기에 메시지 전송을 완료할 수 있고 실시간성을 만족하게 된다. 여기서 $p(i)$ 는 메시지 i 보다 우선순위가 높은 메시지들의 집합이다.

$$U_i + \sum_{j \in p(i)} U_j \leq 1 \quad (2)$$

메시지 i 가 데드라인을 만족시키지 못한 경우, $p(i)$ 에는 메시지 i 의 주기 안에서 자신의 버스활용도 이상의 시간을 할당 받아 패킷을 전송한 메시지 j 가 하나이상 존재함을 의미한다. 이렇게 버스활용도 이상의 시간 동안 전송되는 메시지 j 의 할당 시간을 줄여 메시지 i 가 데드라인을 만족시킬 수 있도록 우선순위를 재설정해야 한다.

즉, $t * U_j < R_j(t)$ 을 만족하는 메시지 j 를 찾아내기 위한 지표로 F 를 사용한다. 이때 $R_j(t)$ 는 t 동안 메시지 j 가 전송된 시간이며, F 는 메시지 j 가 i 의 주기 안에서 실제로 시간을 점유하고 패킷을 전송한 시간과 할당 받도록 기대되는 시간의 비율로 다음과 같이 나타낸다.

$$F_i(j) = \frac{R_j(t)}{T_i * U_j} = \frac{R_j(t)}{T_i * \frac{C_j}{T_j}} = \frac{R_j(t)}{C_j} * \frac{T_j}{T_i} \quad (3)$$

메시지를 요청받은 노드들이 우선순위가 높은 다른 메시지에 의해 전송이 지연되고 있다면 전송되는 시간을 측정하여 각 메시지의 F 값을 계산한다. 이 F 값이 1이상이라면 자신의 주기 안에서 필요 이상의 시간을 할당받은 메시지가 존재한다는 의미이다. 따라서 $F_i(j) \geq 1$ 을 만족하는 메시지 j 가 존재할 때 메시지 i 의 우선순위를 $P_i = P_j + 1$ 로 설정한다.

우선순위 재설정에는 그림 4와 같은 과정을 거친다. 각 메시지들은 주기에 따라 주기가 짧은 메시지가 상위 우선순위를 가지도록 초기 우선순위가 결정된다. 그 후 메시지 전송요청이 오면 메시지 충돌을 확인하고 우선순위를 비교하여 전송하게 된다. 이때 상대적으로 우선순위가 높은 메시지와 충돌이 발생했다면 F 값을 계산하고 F 의 값이 1이상인 메시지가 존재하면 우선순위를 그 메시지보다 더 높은 값으로 설정한다. 이렇게 되면 자신의 주기에 버스활용도보다 더 많은 시간을 할당 받은 메시지의 전송을 중단시키고 자신의 메시지가 먼저 전송되게 된다.

표 1과 같이 메시지 A, B, C를 예로 들면, 이 세 메시지의 버스활용도 합은 0.975이고 우선순위의 값은 $A > B > C$ 순이다. 여기서 주기는 실제 시간을 한패킷의 전송시간으로 나눈 값을 의미한다.

이 경우 고정된 우선순위를 사용하면 메시지 A는 우선순위가 더 높은 메시지 B와 C에 의해 대부분 데드라인을 만족하지 못하게 된다. 그러나 동적 우선순위 할당 기법을 이용하면 데드라인을 만족하지 못하는 상황을 없앨 수 있다.

그림 5에서 보이는 것과 같이 메시지 A를 기준으로 각 메시지의 버스활용도를 이용하여 F 값을 구해보면, $F_A(B) \geq 1$

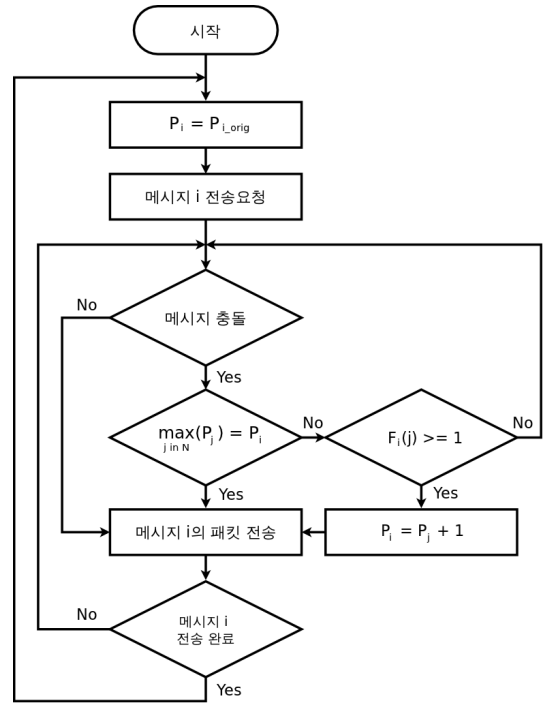


그림 4. 우선순위 재설정 흐름도.
Fig. 4. Flowchart of priority re-adjustment.

표 1. 우선순위 재설정 예제.

Table 1. Example of dynamic priority re-adjustment.

	주기	패킷 수	버스활용도
A	10	1	0.100
B	8	3	0.375
C	6	3	0.500

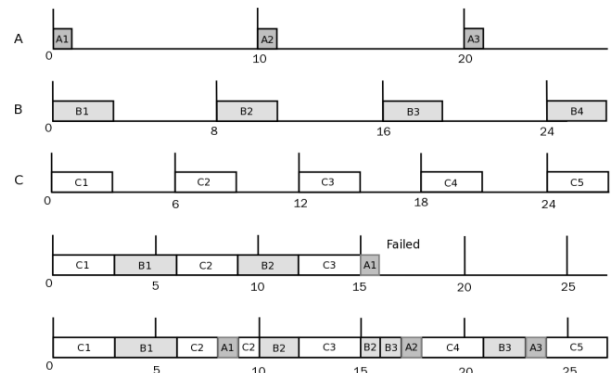


그림 5. 우선순위 재설정 예제.
Fig. 5. Example of priority re-adjustment.

일 때는 메시지 B가 4패킷 전송되었을 경우이고 $F_A(C) \geq 1$ 일 때는 메시지 A가 5패킷 전송되었을 경우이다. $t = 8$ 에서 A의 주기(0-10)안에 C의 패킷이 5개가 전송되었기 때문에 $F_A(C) \geq 1$ 을 만족하고, 메시지 A의 우선순위를 $P_A = P_C + 1$ 로 변경시켜 주어 데드라인을 만족시킬 수 있다. 그 후 메시지 A의 전송이 완료되었으므로 A의 우선순위는 다시 초기의 우선순위 값으로 재설정해 준다. $t = 17$ 에서 메시지 A의 두 번째 주기(10-20)안에 메시지 B의 패킷이 4만큼 전송되어 $F_A(B) \geq 1$ 를 만족하므로 메시지 A의 우선순위를 $P_A = P_B +$

1로 재설정 해주면 메시지 A는 모든 주기 내에서 데드라인을 만족하게 된다.

이렇게 동적으로 우선순위를 변화시키는 동적 우선순위 할당 기법은 우선순위가 높은 메시지의 전송 지연 시간은 조금 늘어나고 우선순위가 낮은 메시지의 전송 지연 시간은 줄어들어 소프트 리얼타임 메시지들의 전송 지연 시간의 편차를 줄이는 결과를 가져온다. 따라서 버스 트래픽이 높아 질수록 같은 그룹의 메시지들은 비슷한 전송 지연 시간을 가지게 되고, 우선순위가 낮은 메시지들에 전송 기회가 늘어나 실시간성이 향상된다.

3. 우선순위의 경쟁 분석

동적 우선순위 할당 기법을 적용한다면 두 개 이상의 메시지들이 서로에 대해 F 값이 1에 근접한 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황에서 각 메시지들의 우선순위가 반복적으로 변화하여 메시지 전송이 제대로 이루어지지 않거나 데드라인을 제대로 만족시키지 못하는 상황이 발생하는지에 대해 설명한다.

먼저 하나의 공유버스를 사용하는 메시지 i, j, k 가 존재할 때, 각 메시지의 초기 우선순위 값은 $P_k > P_j > P_i$ 이고 메시지 k 가 가장 높은 우선순위를 가진다고 가정한다. 그러면 우선순위가 재설정된 직후에 우선순위가 상대적으로 낮아진 메시지에서 다시 F 값이 1이상인 경우가 발생할 수 있고, 두 개 이상의 메시지들이 서로에 대해서 F 값이 1이상인 상황을 생각할 수 있을 것이다. 예를들어 $F_i(j) < 1$ 이고, $F_i(k) \geq 1$ 를 만족할 때, 메시지 i 의 우선순위는 $P_i = P_k + 1$ 로 재설정되어 가장 높은 우선순위를 가지게 되며, 우선순위 값은 $P_i > P_j$ 가 된다. 여기서 우선순위가 가장 높은 i 가 전송되어야 하는데 $F_j(i) \geq 1$ 를 만족한다면, 메시지 j 의 우선순위 값은 $P_j = P_i + 1$ 이 되어 j 가 가장 높은 우선순위를 가지게 된다. 메시지 i 는 다시 대기하게 되지만 현재 $F_i(j) < 1$ 이므로, $F_i(j) \geq 1$ 이 될 때까지 대기하여도

$$U_i + \sum_{j \in p(i)} U_j \leq 1 \tag{4}$$

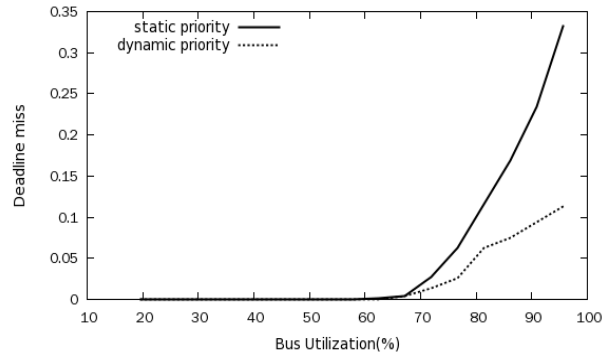
를 만족하므로 메시지 i 는 데드라인을 만족하게 된다. 같은 방법으로 메시지 j, k 에 대해서도 만족한다.

III. 성능 평가

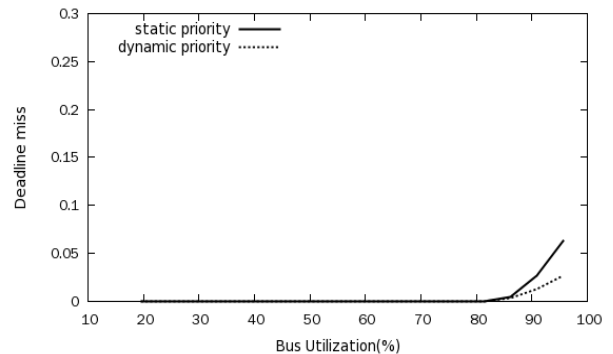
본 논문에서 제안한 동적 우선순위 할당 기법을 적용한 ISO 11783 네트워크 메시지들의 실시간성에 대한 평가를 하기 위해 Vector사의 CAN 기반 네트워크 시뮬레이션 툴인 CANoe [14]를 활용해 모델링을 하고 시뮬레이션을 수행하였다. 네트워크 시스템의 시뮬레이션으로 사용된 CANoe는 CAN, LIN, FlexRay 등의 네트워크로 구성된 분산 제어 시스템 개발 및 디버깅에 널리 이용되는 툴로 네트워크 시스템의 시뮬레이션을 할 수 있도록 가상의 네트워크를 형성하여 테스트할 수 있는 환경을 제공한다.

1. 실시간성 평가

각 ECU에서 전송하는 메시지의 최초의 우선순위는 주기에 따라서 결정된다. 하지만 메시지 데이터의 크기는 우선순위나 주기와 무관하므로 노드를 추가하여 버스활용도를 늘



(a) For priority being proportional to message size.



(b) For priority being inversely proportional to message size.

그림 6. 전송제한시간(deadline) 위반 발생 빈도.

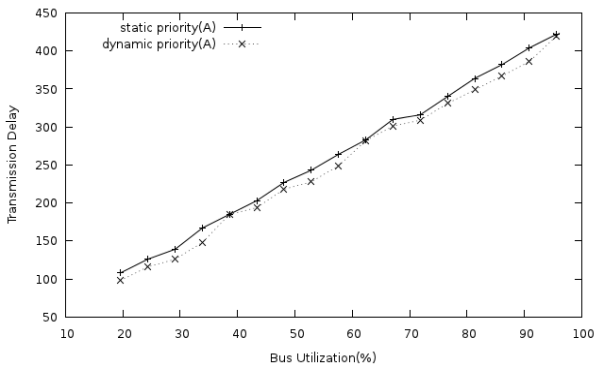
Fig. 6. Deadline miss rate (simulation results).

려가면서 우선순위와 메시지 크기가 비례하는 경우와 반비례하는 경우의 두 가지 경우를 시뮬레이션 하였다.

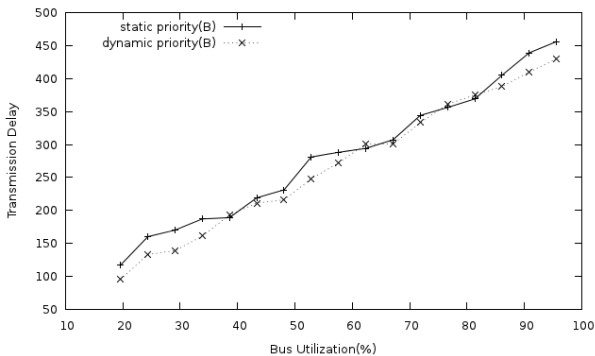
먼저 그림 6은 버스활용률에 따라 메시지의 전송지연시간이 주기를 벗어나는 경우, 즉 실시간 조건을 만족시키지 못하는 경우이다. 그림 (a)와 (b)는 우선순위와 메시지 크기가 비례하는 경우와 반비례하는 경우를 본 것으로 높은 우선순위의 메시지에 더 큰 크기를 할당하는 (a)의 경우, 기존의 고정된 우선순위를 이용하였을 때는 버스 활용도가 60% 넘어가면서부터 데드라인을 만족시키지 못하는 경우가 발생하며 버스활용도가 100%에 가까워 질수록 그 양은 급격하게 증가한다. 그러나 동적 우선순위 할당 기법을 이용한 네트워크에서는 기존의 방법보다 더 낮은 65%의 버스활용도에서 데드라인 미스가 발생하며, 데드라인 실패율 또한 버스활용도가 높아질수록 증가하지만 기존의 방법보다 상대적으로 60~70% 줄어든 값을 보여준다. 반면에 (b)의 경우는 우선순위와 메시지 크기가 반비례하는 경우로서, 데드라인을 만족시키지 못하는 상황이 이전의 실험보다 훨씬 적게 나타나며, 버스 활용도가 약 80% 이상일 때부터 발생한다. 데드라인 실패율이 훨씬 적긴 하지만 이 경우 역시 버스 트래픽이 높아졌을 때는 동적 우선순위 할당 기법을 이용했을 때 실시간성이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

2. 메시지 전송지연 시간 평가

그림 7의 결과는 앞서 실험했던 표본들의 실제 전송지연시간의 평균값이다. (a)와 (b)는 그림 6과 마찬가지로 각각 우선순위와 메시지 크기가 비례하는 경우와 반비례하는 경우이다. 모든 경우, 버스 활용도에 따라 지연시간이 증가하



(a) For priority being proportional to message size.



(b) For priority being inversely proportional to message size.

그림 7. 메시지 전달지연 시간.

Fig. 7. Transmission latency (simulation results).

는데, 동적 우선순위의 경우, 정적 우선순위 방법에 비하여 평균 4.6%와 6.4%의 지연시간 감소를 보이는 것을 알 수 있다. 특히 (b)의 경우가 더 큰 지연시간 감소를 보인다. 또한 지연시간에 대한 표준편차를 구해보면 정적 우선순위 방법은 34이며, 동적 우선순위 방법은 28로서, 동적 우선순위 할당 기법을 적용하였을 때 표준편차가 약 18% 정도 더 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 필요이상으로 일찍 전송되는 메시지가 늦춰지고 상대적으로 늦게 전송되던 우선순위가 낮은 메시지들의 전송 지연시간이 줄어들면서 나타나는 현상으로 메시지 전송시간에서의 오차(jitter)가 감소한 다고 볼 수 있다.

이러한 시뮬레이션 결과에서 본 논문에서 제시하는 동적 우선순위 할당 기법은 한정되어 있는 네트워크 버스 상에서 모든 메시지의 전송 지연 시간을 감소시키지는 못한다. 그러나 동적 우선순위 할당 기법이 적용되는 메시지들에 한해서 일정한 전송기회를 제공함으로써 각 메시지들의 평균 전송 지연 시간의 편차가 줄어들게 되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

농기계를 위한 국제 표준 네트워크인 ISO 11783 네트워크는 CAN 프로토콜을 기반으로 하고 있으나, 일대일 통신 및 대량의 데이터 전송을 허용하는 확장성으로 인하여 기존의 CAN 버스와는 다른 네트워크 특성을 가진다. 특히 대량의 데이터를 전송하는 경우 동일한 우선순위를 가지는 다른 짧은 패킷의 전송이 지연될 수 있어 이들 메시지들의 실시간성을 보장할 수 없는 단점이 있다.

본 연구는 메시지들의 버스 활용도에 따라 우선순위를 동적으로 재설정하는 동적 우선순위 할당 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 ISO 11783 기반의 네트워크 시스템의 실시간성이 향상할 수 있다는 것을 검증하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법이 기존의 고정된 우선순위를 이용하여 통신을 하는 것 보다 메시지들이 데드라인을 만족시키지 못하는 상황이 줄어들어 실시간성을 향상시킬 수 있으며 각 메시지 전송지연 시간의 편차(jitter)가 줄어들어 좀 더 안정적인 통신이 가능하다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Society of Automotive Engineers, SAE, "Surface Vehicle Recommended Practice J1939-7x," Report no.10, Feb. 2002.
- [2] ISO 11783, "Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network," 2001.
- [3] R. B. Gmbh, "CAN Specification Version 2.0," 1991.
- [4] K. Tindell, A. Burns, and A. Wellings, "Calculating CAN (Controller Area Network) message response times," *Control Engineering Practice*, vol. 3, no. 8, pp. 1163-1169, Aug. 1995.
- [5] M. Ali Livani et al., "Scheduling hard and soft real-time communication in a controller area network," *Control Engineering Practice*, vol. 7, no. 12, pp. 1515-1523, Dec. 1999.
- [6] H. Shokry, M. Shedeed, S. Hammad, M. Shalan, and A. Wahdan, "Hardware EDF scheduler implementation on controller area network controller," *Proc. of the IEEE Design and Test Workshop*, pp. 1-6, Nov. 2009.
- [7] N. Navet, Y. Song, and F. Simonot, "Worst-case deadline failure probability in real-time applications distributed over controller area network," *Journal of Systems Architecture*, vol. 46, no. 7, pp. 607-617, Apr. 2000.
- [8] H. Zeng, M. Di Natale, P. Giusto, and A. Sangiovanni-Vincentelli, "Using statistical methods to compute the probability distribution of message response time in controller area network," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 6, no. 4, pp. 678-691, Nov. 2010.
- [9] T. Nolte, H. Hansson, and C. Norstrom, "Probabilistic worst-case response-time analysis for the controller area network," *Proc. of the 9th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, pp. 200-207, May 2003.
- [10] K. Anwar and Z. A. Khan, "Dynamic priority based message scheduling on controller area network," *Proc. of International Conference on Electrical Engineering (ICEE07)*, pp. 1-6, Apr. 2007.
- [11] H.-S. Choi, H.-S. Choi, and J.-M. Lee, "A dynamic precedence queue mechanism of CAN for an efficient management of automobile network system," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 12, no. 6, pp. 614-620, Jun. 2006.
- [12] M. Kim, J. G. Lee, S. Lee, and K. C. Lee, "A study on distributed message allocation method of CAN system with dual communication channels," *Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 10, pp. 1018-1023, 2010.
- [13] R. Johansson and J. Torin, "On calculating guaranteed message response times on the SAE J1939 bus," Chalmers Lindholmen

University, 2002.

[14] CANoe, <http://www.vector.com>.



이 상 화

2009년 인하대학교 정보통신공학부 학사. 2012년 인하대학교 대학원 공학석사. 2012년~현재 텔레칩스(주) 연구원. 관심분야는 임베디드시스템, 실시간 운영체제, 실시간 네트워크.



김 유 성

1986년 인하대학교 전자계산학 학사. 1988년 한국과학기술원 전산학석사. 1992년 동 대학원 박사. 1996년 Purdue Univ. 방문연구원. 1992년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 데이터마이닝, 멀티미디어 데이터베이스, 지능검색, 통신.

스, 지능검색, 통신.



이 승 결

1982년 인하대학교 응용물리학과 학사. 1984년 한국과학기술원 이학석사. 1987년 동 대학원 박사. 1987년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 1990년~1991년 미국 Northwestern Univ. 교환교수. 2003년~2004년 미국 Arizona Univ. 방문

교수. 관심분야는 초정밀 계측, 자동화시스템, 광통신.



박 재 현

1986년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1988년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1995 Univ. of Michigan 연구원. 1995년~현재 인하대학교 정보통신공학부 교수. 관심분야는 임베디드시스템, 실시간시스템, 고신뢰성 컴퓨터시스템.