

비율단조 알고리즘 기반 CAN 분석 평가 모델

이지연*, 백두권**

*고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 소프트웨어공학과

**고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·전파통신공학과

*jiyeon315@gmail.com, **baikdk@korea.ac.kr

Rate Monotonic Algorithm Based Analytic Evaluation Model of CAN

Ji-Yeon Lee*, Doo-Kwon Baik**

*Dept. of Graduate School of Computer & Information Technology, Korea University

**Dept. of Computer and Radio Communications Engineering, Korea University

요 약

자동차 관련 기술은 점차 전기, 전자 장치로 빠르게 바뀌어 가고 있다. 차량 내 연결되어 있는 전자 제어 장치들도 그에 따라 증가하게 되었고 장치간의 통신 성능도 중요하게 되었다. 가장 널리 사용되고 있는 차량용 네트워크 프로토콜로는 CAN(Controller Area Network)을 들 수 있다. 그러나 최근 통신 복잡도가 증가함에 따라 주기적 메시지 통신의 메시지 전송 지연 및 중단이 발생되고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제에 대한 해결 방안을 제시하기 위해 메시지들의 스케줄 가능성 및 응답시간에 따른 실 시간성 검증 모델을 제안한다. CAN 메시지 수신 시 RMA(Rate Monotonic Algorithm)기반으로 메시지 스케줄 가능성 평가 모델을 개발하였다. 또한, CAN 메시지를 송신할 경우 RTA(Response Time Analysis)를 고려한 실 시간성 평가 모델을 제시하였다. 실험 1에서는 기존 RMA 기법으로 통신을 수행한 결과 통신 중 중단되는 현상을 확인하였고 이후 제안 모델에서는 23%정도의 추가 시간을 확보하여 통신을 완료하는 것을 증명하였다. 실험 2에서는 메시지 통신의 응답시간이 모두 제안된 Worst-case 응답시간 이내로 측정되어 실 시간성을 만족함을 확인하였다.

1. 서론

최근 자동차 제조업체는 안전성과 편의성에 대한 소비자의 요구가 높아짐에 따라 차세대 지능형 자동차의 연구 개발이 활발하다. 이러한 요구 사항을 만족하기 위해 차량 내부에는 많은 전자장치와 소프트웨어가 적재되고 있다. 이에 따라 차량내의 통신은 상당히 복잡해졌다. 따라서 차량 내 전자장치간의 빠르고 안정적인 통신 방법이 요구되고 있다. 차량의 전자제어장치에는 통신 네트워크를 접목시킨 차량 내 네트워크(In Vehicle Network, IVN)가 대부분 적용되고 있다. 현재까지 차량용 네트워크 프로토콜로 CAN(Controller Area Network)이 가장 널리 성공적으로 사용되고 있다. CAN은 1980년 초반 독일의 Bosch사에서 개발되었으며 1993년 ISO 11898(고속 통신 네트워크 표준안), ISO-11519(저속 통신 네트워크 표준안)등이 국제 표준 규격으로 지정되어 있다.

차량 내에서 특성이 다른 많은 시스템이 적용되면서 각각의 메시지에 따라 우선순위 설정, 서로 다른 응답 시간의 제어가 필요하다. 하지만 차량용 CAN 통신에 관한 평가는 미흡한 상황이다. 2004년 ISO-15765(차량 진단 통신 표준안)이 표준 국제 규격으로 지정됨에 따라 CAN 통신을 통한 송신 데이터 패킷의 프로토콜을 규정하고 있으나 차량의 실시간 시스템에서 적용 플랫폼에 따른 자원 제어와 마감 시간의 문

제에 대한 해결법은 고려되지 않았다.

차량 CAN 통신과 일반 통신이 메시지 스케줄링 및 응답성 측면에서 비교할 때 가지는 차별적인 특성은 다음과 같다.

첫째, CAN 통신은 적용되는 플랫폼을 정의하고 기능 요구사항에 맞는 구성이 필요하다. 최소한의 리소스로 의도된 기능만을 구현하여 사용하여야 하기 때문에 통신하고자 하는 메시지들의 스케줄 가능성을 분석하고 시스템 전체의 안정성을 유지할 수 있어야 한다

둘째, 시간 독립적인 데이터와 시간 종속적인 데이터가 결합된 형태의 데이터로서 일정 시간 이내에 처리되어야만 의미를 갖는 실 시간적인 제한을 갖고 있다. 따라서 이런 실 시간적 특성이 적용된 평가 모델이 필요하다.

본 논문에서는 차량에서 전자 제어 장치로 사용되는 CAN의 분석 평가 모델을 제안하고자 한다. 메시지 수신 중 통신 중단의 위험성과 송신 중 실 시간적 특성이 적용되지 않았을 때의 문제점을 제시하고, 그 문제들을 해결하기 위한 방법으로 RMA와 RTA를 개선한 모델을 소개한다. 제안된 모델에서는 기존 알고리즘의 한계에 대한 해결 방안을 제시하며 좀 더 실제 시스템의 특성을 반영한다.

2. 관련 연구

CAN 통신 분석 평가 모델을 구성하고 있는 RMA 모델과 RTA 모델은 실시간 시스템에서 사용되는 스케줄링 기법이다. 최근 RMA 와 RTA 모델들을 CAN 에 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

2.1. RMA(Rate Monotonic Algorithm)

RMA 는 주기적인 태스크들의 최적화된 우선순위를 결정하기 위한 알고리즘이다. 이 알고리즘에서는 주기에 따라 고정된 우선순위를 부여한다. 짧은 주기일 수록 높은 우선순위를 부여하고 모든 태스크가 마감 시간을 맞출 수 있으면 그 태스크 집합은 스케줄이 가능하다고 한다. [1][2]

최근 임베디드 시스템에서 스케줄링 기법으로 사용되던 RMA 모델을 CAN 에 적용하려는 연구가 진행되고 있다. [3]

알고리즘을 구성하는 속성은 다음과 같다.

- 주기 (the period, or minimum inter-arrival time, T)
- 수행시간 (the worst case computation time, C)
- 우선순위 (the priority, P)
- CPU 이용률 (the utilization, U)

i 개의 CAN 메시지가 적용되고 있을 때 수행 시간 C_i 와 주기 T_i 가 주어지고 CPU 이용률은 다음 방정식으로 표현할 수 있다.

$$U_i = C_i / T_i \quad (1)$$

RMA 에서 n 개의 CAN 메시지들의 프로세서 사용률은 다음과 같이 주어진다.

$$U(n) = n(2^{1/n} - 1) \quad (2)$$

$U(n)$ 은 메시지의 개수가 1 인 경우에는 CPU 를 100% 활용할 수 있다. 하지만 메시지의 수가 증가함에 따라 메시지들의 마감 시간을 충족하면서 활용할 수 있는 프로세서의 시간은 감소하여 69.3% (or $\ln 2$)에 수렴하게 된다. 모든 메시지가 모든 시간에 모든 마감 시간을 맞출 수 있으면 그 태스크 집합은 스케줄이 가능하다고 제안하고 있다. [4]

하지만 제약 사항이 존재한다. 우선순위가 주기에 있기 때문에 우선 순위가 낮은 긴 주기의 태스크는 마감 시간 내 수행이 되지 않거나 다른 태스크들도 완료되지 않고 중단된다. 핵심태스크가 주기로 인해 낮은 우선순위를 갖는다면 RMA 는 핵심 태스크의 수행을 놓치게 된다.

2.2. RTA(Response Time Analysis)

응답 시간 분석(RTA) 모델은 다음의 이론을 기반으로 프로세스의 스케줄 가능한 조건을 분석한다.

RTA 는 태스크 별 응답시간의 계산을 요구한다. 다음의 이론을 기반으로 각각의 응답 시간은 프로세스의 주기보다 작다면 시스템은 스케줄 가능한 조건이라고 판단한다. [5]

알고리즘을 구성하는 속성들로 특징지어 진다.

- 응답시간 (the response time, R)
- 마감시간 (the deadline, D)
- 실행 횟수 (the number of releases, N)
- 방해 시간 (the interference, I)

전체 시스템 사용량은 1 미만으로 가정한다. ($\sum C_i / T_i < 1$). 높은 우선순위를 갖는 태스크 j 의 실행 횟수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$N_j = \lceil R_i / T_j \rceil \quad (3)$$

I 는 수행시간에 실행 횟수를 곱한 형태로 표현한다.

$$I_j = \lceil R_i / T_j \rceil * C_j \quad (4)$$

다음은 응답시간의 방정식이다.

$$R_i = C_i + \sum \lceil R_i / T_j \rceil * C_j \quad (5)$$

기존 식(5)와 같은 RTA 모델에서 이전 태스크 응답 시간을 더한 모델로 확장하여 제안하고 있다. [8]

$$W_i = R_i + C_i + \sum \lceil R_i / T_j \rceil * C_j \quad (6)$$

관련 연구들에서는 기존 RTA 모델에서 현재 태스크의 응답시간만을 고려한 Worst-case 응답시간이 현실성 없음을 지적하고 이전 태스크 응답시간까지 고려한 모델을 제안하고 있다.[6]

3. 제안하는 방법

본 절에서는 서론에서 살펴본 RMA 모델의 중단적 수행 방식의 개선 방법을 제안하고 RTA 모델을 통신 시스템에 적용했을 때 전송시간을 고려하여 CAN 통신 분석 평가 모델을 제안한다.

3.1. RMA 중단적 수행 방식 개선

RMA 에서 작업들의 중단적인 수행을 가정하는 것과 달리 CAN 메시지 수신 시 한 주기 내의 작업이 처리되는 도중에는 작업을 중단하지 않도록 해결방안을 제시하였다. 이를 표현하면 다음과 같다.

식(2)에서 제시한 스케줄링에서는 계산된 예상 사용률 69.3%까지 우선순위가 낮은 태스크의 마감시간이 맞춰지지 않으므로 태스크는 중단 된다. 태스크 수행 완료까지 필요한 시간은 현재 수행되고 있는 태스크까지의 누적된 사용률 시간이다. 마감시간까지 부족한 시간은 사용률 누적시간과 계산된 사용률과의 차이 값이 된다.

$$T_{diff} = U(n) - \sum U_i \quad (7)$$

T_{diff} 의 값은 다음으로 표현할 수 있다.

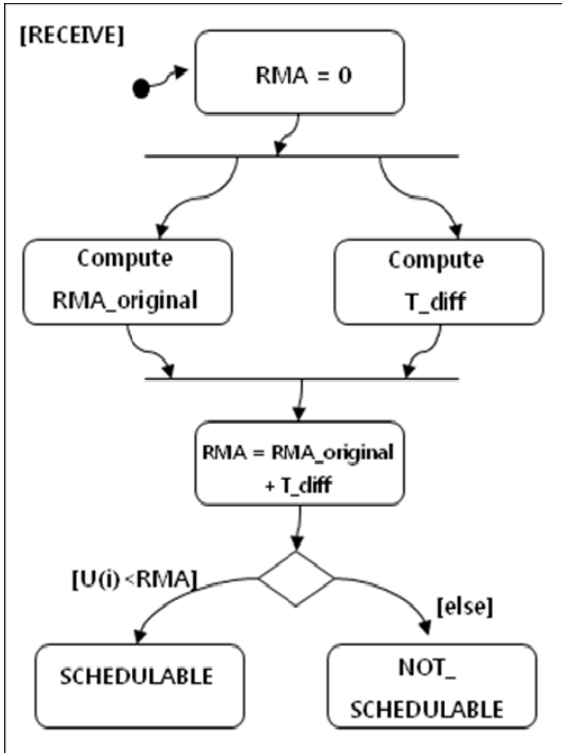
$$T_{diff} = \sum C_i / T_i - n(2^{1/n} - 1) \quad (8)$$

마감시간의 중단 없이 통신이 진행되기 위해서는 RMA 에서 제안하는 사용률에서 T_{diff} 의 시간만큼 추가되어야 한다.

따라서 제안하는 모델은 식(8)과 같이 주어진다.

$$U(n) = \ln(2) + |(\sum C_i / T_i - n(2^{1/n} - 1))| \quad (9)$$

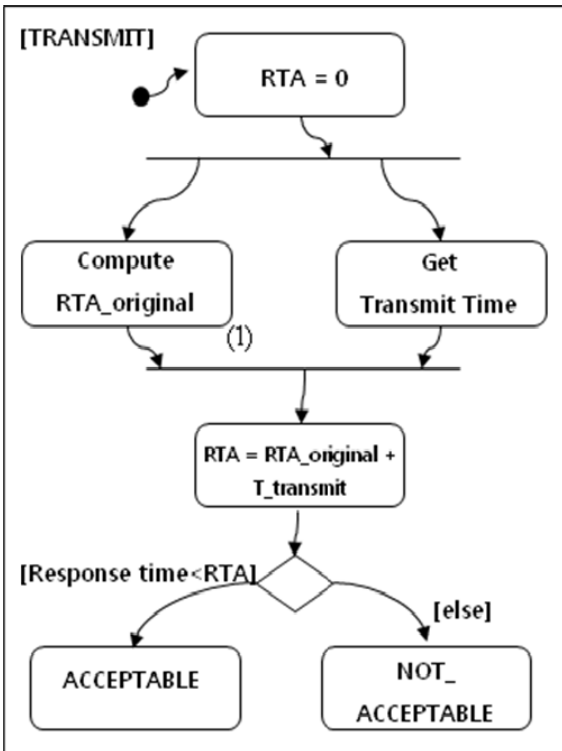
분석 평가 모델에서 식(2)를 사용하여 시스템 유입 가능성을 확인한다. 조건을 만족하지 않을 경우 차량 내 통신 수행 중 중단 가능성이 있다고 판단하여 시스템으로의 유입이 저지된다.



(그림 1) 수신 단 CAN 분석 평가 흐름도

3.2. RTA 실 시간적 특성 보완

기존 RTA 모델을 CAN 메시지 송신 상황에 적용하였고 CAN 메시지 전송시간까지 고려하여 제안하였다.



(그림 2) 송신 단 CAN 분석 평가 흐름도

기존 RTA 모델에서는 태스크들의 Worst-case 응답시간을 계산하고 응답 시간이 Worst-case 응답시간보다 작다면 시스템은 스케줄 가능한 조건이라고 판단하였다.

제안하는 모델에서는 식(6)에서의 이전 태스크 응답시간까지 고려한 Worst-case 응답시간 계산에서 통신의 전송시간까지 확장 적용하여 통신 중 발생하는 시간에 대해 전반적으로 고려하였다.

$$W_i = T_i + R_i + C_i + \sum [R_i / T_j] * C_j \quad (10)$$

분석 평가 모델에서는 식(10)을 사용하여 실 시간성 응답성을 확인한다. CAN 통신 중 메시지의 응답시간이 식(10)의 Worst-case 의 응답 시간보다 작다면 실 시간적인 특성을 만족한다고 판단한다.

4. 실험

실험은 Texas Instruments 社의 Cortex-A8(600MHZ) 프로세서가 적용된 임베디드 환경에서 수행이 되었다. 운영체제는 RTOS 환경이며 사용된 프로세서의 상세 사양은 표 1 과 같다.

DEVICE	CORE	FREQUENCY	STORAGE	VOLTAGE CORE
TI 674X	Coretex-A8	ARM@600MHZ	NAND,NOR	0.83-1.2V

<표 1> 임베디드 시스템 실험 환경

차량용 CAN 통신 성능 분석 평가를 위해 표 2 와 같이 사용 빈도 수 상위 6 개의 메시지들을 한 집합으로 구성하여 실험 하였다. RMA 기반으로 짧은 주기일수록 높은 우선순위를 두어 실험을 진행하였다.

	TCU1	SAS1	ESP2	CLU1	CLU2	GWAY2
T (msec)	10	10	10	20	100	200
C (msec)	2	2	2	2	2	2
L (msec)	5	5	5	10	20	20
T (msec)	1	1	1	1	1	1
U	0.2	0.2	0.2	0.1	0.02	0.01
Priority	6	5	4	3	2	1

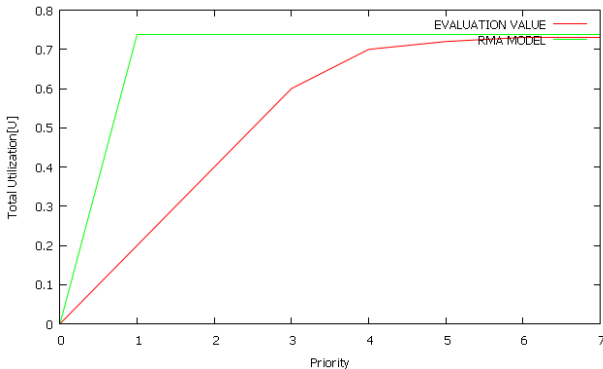
<표 2> CAN 메시지 통신 파라미터 표

4.1 RMA 에 의한 시스템 스케줄 가능성 판단 실험

기존 알고리즘에서는 RM 스케줄 가능 검사 시 프로세서 사용률이 ln2(69.3%) 이하인 경우 만족했지만 본 논문에서 제안한 알고리즘에서는 식(9)를 사용하여 프로세스 비 중단 조건을 추가하였다. 제안한 알고리즘에서 시스템 스케줄 가능성을 판단하는 프로세서 사용률이 증가함을 확인할 수 있었다.

[실험 1]

- 기존 RMA 의 누적된 사용률 값 : 0.693
- 제안 RMA 의 누적된 사용률 값 : 0.738
- 실험 데이터에서의 사용률 값 : 0.73



(그림 3) CAN 메시지 수신 사용률 비교

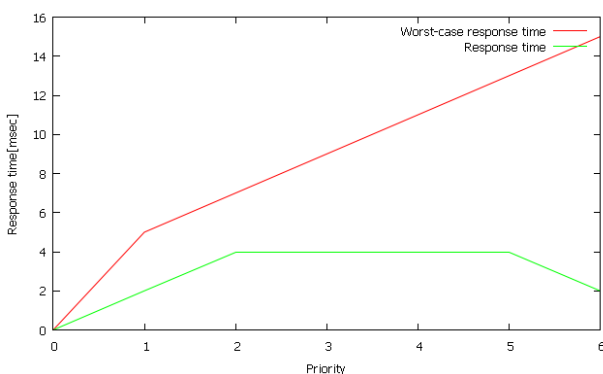
실험에 사용된 CAN 메시지 통신 집합에서 누적 사용률 값은 0.73 으로서 기존 RMA 모델에서는 제시하는 0.693 을 초과하므로 통신 중 중단하는 현상이 발생한다. 하지만 제안한 RMA 모델에서는 메시지 통신 완료까지의 시간을 추가하여 CAN 메시지 통신이 수행 중 중단 없이 스케줄링 가능하다.

4.2 RTA 에 의한 실시간성 만족 실험

RTA 모델 검증을 통해 수행되고 있는 CAN 통신의 실시간성을 검증한다.

[실험 2] (단위 : msec)

- Msg1 의 TCU1 의 Response Time = 2, W_i : 5
- Msg2 의 SAS1 의 Response Time = 4, W_i : 7
- Msg3 의 ESP2 의 Response Time = 4, W_i : 9
- Msg4 의 CLU1 의 Response Time = 4, W_i : 11
- Msg5 의 CLU2 의 Response Time = 4, W_i : 13
- Msg6 의 GWAY2 의 Response Time = 2, W_i : 15



(그림 4) CAN 메시지 송신 상황의 응답시간 비교

실험 2 에서는 주기가 짧은 메시지부터 높은 우선순위를 부여한 후 제안한 식(10)을 통해 Worst-case 응답시간을 계산된 값과 실제 메시지통신의 응답시간을 비교하여 분석하였다. 실험 결과 실 시간적 특성 평가 조건을 만족하였음을 알 수 있다.

5. 결론

CAN 을 이용한 차량 내 네트워크 통신은 마감 시간 내에 수행을 마쳐야 하는 실 시간적 특성과 이러한 행동들이 반복되는 주기적인 특성을 가지고 있기 때문에 기존의 스케줄링 기법과는 다른 방법으로 처리해야 한다. 메시지 별 통신에서 마감시간을 맞추려면 주기가 짧은 메시지가 주기가 긴 메시지에 비하여 높은 우선순위를 가져야 한다. 따라서 주기에 따라 우선순위를 부여하여 CAN 메시지를 스케줄링 하였다. 개선된 RMA 모델에서는 기존 전송 중 중단되는 문제를 해결하고 스케줄 가능한 방법을 제시하였다. 또한, 전송시간을 고려한 RTA 모델을 제안하여 CAN 통신에서 Worst-case 응답 시간을 예측하고 실제 응답 시간과 비교함으로써 실 시간적 특성을 검증하였다.

제안한 비율단조 알고리즘 기반 CAN 분석 평가 모델은 구성된 메시지의 집합의 통신에서 마감시간을 보장하는 통신 스케줄이 가능한지 검증할 수 있었다. 하지만 메시지 수가 증가함에 따라 CPU 이용률이 증가하고 응답 시간이 길어질 수 있다. 앞으로의 연구 방향으로서는 이러한 점을 극복하기 위해서 실 시간 임베디드 시스템의 통신 특성을 반영한 시분할 스케줄링 기법 및 최적화 기법, 메시지 교환에 따른 일정하지 않은 통신 시간까지 고려한 경우에 대한 스케줄링 가능성 평가 및 다중 시스템 환경에서의 자원 분할 방법 등을 들 수 있다.

참고문헌

- [1] C.Liu and J.Layland, "Scheduling Algorithm for multiprogramming in a hard-real-time environment", Journal of the ACM,20(1):46-61, 1973
- [2] J.Lehoczky, L.Sha and Y.Ding, "The rate monotonic scheduling algorithm: Exact characterization and average case behavior", Real-Time Systems Symposium, 1989
- [3] C.Zaiping, G.Yanlei. "Scheduling the CAN Bus with Rate Monotonic Techniques", International Conference on Manufacturing Science and Technology, 2011
- [4] DB Stewart, M Barr "Rate Monotonic Scheduling If you've got a lot of tasks to do, and tight deadlines to meet, what's the best way to prioritize them", Embedded Systems Programming-MILLER FREEMAN, 2002
- [5] M. Sjodin, H.Hansson, "Improved Response-Time Analysis Calculations", Real-Time Systems Symposium, 1998
- [6] K.Tindell, H.Hansson, and A.Wellings, "Analysing Real Time Communications: ControllerAreaNetwork(CAN)", Real-Time Systems Symposium(RTSS), 1994
- [7] N.Audsley, A.Burns, K.Tindell, M.Richardson, and A.Wellings, Applying New Scheduling Theory to Static Priority Pre-emptive Scheduling, Software Engineering Journal, 8(5):284-292, 1993
- [8] N.Audsley, A.Burns, R.Davis, K.Tidell, and A.Wellings, "Fixed Priority Pre-Emptive Scheduling" : An Historical Perspective, Real-Time Systems,129-154, 1995
- [9] CJ.Willmott "Some Comments on the Evaluation of Model Performance", Journal of the Bulletin of the American Meteorological Society, 1982