

## 차량통신용 J1850 프로토콜의 시뮬레이션 및 성능평가

### Simulation and Performance Evaluation of J1850 Protocol for Automotive Communication

°남상운\*, 윤정아\*, 이 석\*\*

\*부산대학교 생산기계공학과(Tel: 051-510-3091; E-mail: swnam@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

\*\*부산대학교 기계공학부(Tel: 051-510-2320; Fax: 051-514-3670; E-mail: slee@hyowon.cc.pusan.ac.kr)

Abstracts : This paper focuses on development of simulation model for SAE J1850 and performance evaluation of a J1850 network. The simulation model has been developed by using discrete event simulation language. SAE J1850 is one of Class B network protocol for general data sharing applications. Through numerous simulation experiments, several important performance factors such as the probability of a successful transmission, average queue delay, and throughput have been evaluated.

Keywords : SAE J1850, Automotive communication network, Automotive multiplexing system, Discrete event simulation

#### 1. 서론

전통적으로 자동차를 구성하고 있는 전자장치들은 직접적인 전기 배선, 즉 각 신호당 하나의 전선(point-to-point)을 사용하여 왔다. 이와 같은 시스템의 구성은 다음과 같은 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다.

- 많은 전선과 접속장치 설치로 인한 생산비용과 불량률의 증가
- 많은 전선으로 인한 차량 중량의 증가와 연비의 악화
- 전선 설치를 위한 공간 부족
- 새로운 모델이나 기존 모델의 설계수정에 대한 유연성의 부족
- 전기 시스템의 고장 진단에 대한 난점

위의 어려움을 극복하기 위해서뿐만 아니라 분산된 자동차의 구성요소들(제어기와 센서 및 액츄에이터 등) 간에는 데이터 교환에 의한 정보 공유의 필요성으로 인하여 많은 자동차업체와 부품업체들이 항공기나 우주선에 사용되는 fly-by-wire 기법<sup>(1,2)</sup>을 도입하여 흔히 차량용 복합전선 시스템 또는 차량 네트워크로 불리우는 통신 네트워크를 사용한 차량용 통신 및 제어 통합 시스템(Integrated Vehicle Communication and Control System, IVCCS)을 제안하고 있다. 이 방법은 차량에 지역 통신망<sup>(3)</sup>(Local Area Network, LAN)과 유사한 통신망을 설치하고 차량의 주요 부분에 통신 스테이션을 설치하여 여러 전장 시스템을 연결한다.

이러한 네트워크를 이용한 전장 시스템의 구성은 여러 가닥의 복잡한 배선을 제거함으로써 위에 열거한 전통적 구성이 겪는 어려움을 해소할 수 있을 뿐만 아니라 효율적인 정보의 공유로 고도의 기능을 제공하며 고장 판단의 용이 및 백업 시스템(backup system)의 설치와 운영이 가능하다.

이러한 장점을 이용하기 위하여 차량 전체를 관통하는 몇 가닥의 전선만으로 시스템을 구축하는 차량 네트워크를 위한 프로토콜이 이미 많이 개발되었는데, 미국 자동차 학회(Society of Automotive Engineers, SAE)의 J1850<sup>(4,6)</sup>, 독일의 Bosch에서 개발한 Controller Area Network(CAN)<sup>(7,8)</sup>, 일본의 Mazda의 Protocol for Automotive Low and Medium speed Network(PALMNET)<sup>(9)</sup> 등을 예로 들 수 있다.

이러한 차량 네트워크의 선정 또는 개발은 매우 중요한 의미를 갖지만, 대부분의 국내업체에서는 해외의 기술 도입 회사가 사용한 네트워크 프로토콜을 그대로 채택하는 실정이다. 따라서, 여러 네트워크 프로토콜의 객관적인 평가나 자체적인 프로토콜의 개발이 요구되며, 보다 정량적인 평가를 위하여 네트워크에서 전송되는 패킷의 전송 지연이나 정보 처리량 등을 고려해야 할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 SIMAN<sup>(10)</sup>과 같은 이산 사상 시뮬레이션(discrete event simulation)<sup>(11)</sup> 언어를 사용하여 SAE J1850의 시뮬레이션 모델을 개발하고 여러 상황에서 시뮬레이션을 수행하여 J1850의 성능을 평가하였다.

#### 2. SAE J1850

SAE는 차량용 데이터 링크(link)를 세 가지의 클래스(class)로 분류하는데, Class A는 저속용, Class B는 일반적인 데이터 공유를 위한 중속용, 그리고 Class C는 실시간 제어를 위한 고속용으로 분류할 수 있다.

J1850은 SAE에서 도입한 Class B 차량용 네트워크를 위한 표준 프로토콜로서 데이터 공유 기능과 진단(diagnostic) 기능을 목적으로 하며 많은 자동차 생산에 이용되고 있다. 개방 구조(open architecture) 접근법을 사용하여 차량 내에서 다른 전자적 모듈들을 서로 연결하며, 비파괴적 경쟁 해법(nondestructive contention resolution)을 가진 CSMA(Carrier Sense Multiple Access)의 개념을 사용한다. 그리고, 비트 인코딩(encoding)에 따라 41.6kbps를 가지는 PWM(Pulse Width Modulation)과 10.4kbps를 가지는 VPW(Variable Pulse Width modulation)의 두 가지 방식이 있다.

##### 2.1 J1850의 토폴로지 및 계층구조

J1850의 토폴로지(topology)는 버스(bus)형이며, masterless 버스 제어방식을 사용한다. Master가 존재하지 않기 때문에, 버스의 미사용(idle) 상태가 감지되면 각 노드들은 데이터 전송을 시작하

는 동일한 기회를 갖는다. 그러나, 프레임들의 주어진 우선 순위에 따라 높은 우선순위의 프레임이 전송할 수 있다. 한편, masterless 버스 개념의 두 가지 단점은 데이터 latency가 보장되지 않는다는 것과 버스의 효율성을 평가하기 어렵다는 것이다.

J1850의 계층구조는 OSI(Open System Interconnection) 모델의 응용 계층(application layer), 데이터 링크 계층(data link layer), 그리고 물리 계층(physical layer)의 3계층으로 이루어진다. 응용 계층에서는 메시지의 필터링(filtering), 요구에 따른 진단코드 및 매개변수 등을 정의하며, 데이터 링크 계층에서는 addressing 전략, 중재, 우선순위, 버스의 액세스(access), 클럭 동기화, 최대 메시지 길이, 프레임 요소, 에러의 검출 및 응답 등을 정의하고, 물리 계층에서는 노드의 수, 네트워크의 최대길이, 전송속도, 비트 엔코딩 등을 정의한다.

## 2.2 J1850의 프레임 형식

J1850에서 사용되는 일반적인 프레임은 Fig. 1과 같이 IFR(In-Frame Response)에 따라서 4가지의 형식이 존재한다.

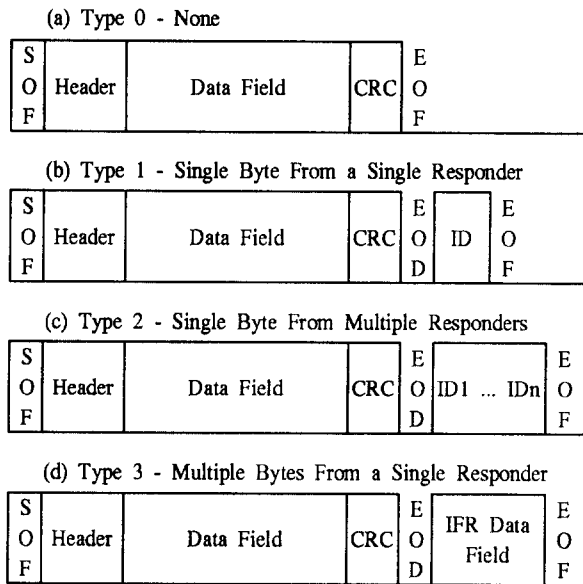


그림 1. IFR에 따른 J1850 프레임 형식

Fig. 1. J1850 Frame Format

SOF와 EOF은 각각 프레임의 시작과 끝을 나타낸다. Header는 프레임의 identifier나 우선순위를 나타내며, 단일바이트(single byte) Header와 통합(consolidated) Header(1byte와 3bytes의 두 형식이 존재)의 두 가지 종류가 있다. CRC는 CRC 에러 검출 바이트이며, EOD는 IFR이 사용되어질 때 데이터 바이트의 끝을 나타낸다. 또, 프레임의 분리를 위해서 IFS(Inter-Frame Separation)가 사용된다.

## 2.3 Addressing과 Message Priority

J1850에서는 물리적 어드레싱, 기능적 어드레싱의 두 가지의 어드레싱 전략이 정의되어 있으며, 이 두 가지가 한 네트워크 내

에서 공존하므로 유연성을 제공할 수 있다. 물리적 어드레싱에서 프레임들은 네트워크 내에서 물리적 주소에 기초하여 두 장치들 사이에서 교환되며, 각 노드들은 네트워크 내에서 물리적 주소를 가져야 한다. 이 전략은 특별한 노드에게만 전송하고자 할 때 사용된다. 다음으로 기능적 어드레싱에서 프레임들은 네트워크 상에서 그 기능에 기초한 많은 장치들 사이에서 전송될 수 있다. 이 전략은 기능의 물리적 위치가 중요하지 않고 한 모듈에서 다른 것으로 옮겨질 수 있을 때 사용되며, 노드들의 물리적 주소들보다 프레임의 기능이 더 중요할 때 사용한다.

J1850의 네트워크 인터페이스는 버스 상의 명확한 접근(access)을 위하여 비파괴적 bit-by-bit 중재를 수행한다. Bit-by-bit 중재는 물리 계층에서 버스의 두 상태(active 또는 passive)의 사용에 근거를 두며, 버스 상에서 active 상태와 passive 상태가 동시에 전송될 때 버스 상의 상태는 항상 active 상태이다. 전송하는 노드가 프레임의 헤더 구간 동안 노드에 의해 전송된 상태와 다른 상태를 감지했을 때, 그 노드는 다음 비트의 전송을 시작하기 전에 전송을 중단해야 한다.

## 3. J1850 시뮬레이션 모델

한 스테이션에서 프레임이 전송을 위하여 준비된 후에 완전히 전송이 완료될 때까지 필요한 시간(전송지연)은 경우에 따라 다르게 된다. 다른 프레임의 전송이 이미 진행 중이면 그 전송의 완료를 기다려야 하고 다른 프레임과 충돌을 일으켜서 다시 전송을 시도해야 할 경우도 있기 때문이다. 이 같은 불확실성은 네트워크 상에 접속된 스테이션의 수, 프레임이 생성되는 빈도, 프레임의 길이 등 여러 인자에 의하여 변화하게 된다.

SIMAN이라는 시뮬레이션 언어를 사용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 이 모델은 스테이션의 수, 각 스테이션에서 생성되는 프레임 간의 시간차에 대한 통계적 정보, 각 프레임이 포함하는 bit 수에 대한 통계적 정보, 그리고 전송속도 등을 입력으로 받아들인다. 이 같은 입력으로 시뮬레이션을 수행하여 전송지연의 평균 및 표준편차, 전송된 bit 수, 프레임 충돌 회수, 그리고 전송된 프레임 수 등의 출력을 얻을 수 있다.

### 3.1 시뮬레이션 모델의 가정

본 모델에서는 프레임 전송 시 에러가 발생하지 않는 정상적인 경우로 가정하였으며, 실제 J1850 프로토콜에서는 bit-by-bit으로 프레임을 비교하는데 비해, 본 시뮬레이션 모델에서는 identifier를 비교할 때 전체의 값을 환산하여 비교하는 식으로 가정하였다.

한편, 프레임이 충돌하는 두 가지 경우로, 2개 이상의 프레임이 전파지연 이내에 생성되는 경우와 다른 프레임이 전송되는 중에 생성되는 경우가 있는데, 전자의 경우 차량 내의 최대 길이를 100m 정도라고 하더라도 전파속도가 200m/μsec정도이므로 전파지연에 의한 충돌확률은 매우 미미하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모델에서는 후자의 경우만을 고려하였다.

### 3.2 시뮬레이션 모델

본 모델에서 스테이션은 4개의 트래픽 그룹 중 하나를 특성으로 갖게 되며, 이 4개의 트래픽 그룹은 각 스테이션에서의 프레임 도착시간과 길이에 대한 확률분포를 다르게 정의하고 있다.

본 시뮬레이션 모델은 Prime, 4개의 event, 그리고 2개의 서브루틴(subroutine)으로 구성되어 있으며, 사건 다이어그램(event diagram)을 통해 시뮬레이션 모델을 단순화하여 도식적으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 그림에서 사용된 기호를 보면, 실선의 화살표는 0이 아닌 지연(delay)을 가지고서 다음 사건이 스케줄된다는 것을 나타내며, 점선의 화살표는 시간지연 없이 다음 사건이 스케줄된다는 것을 나타낸다. 그리고 동그라미는 event 또는 서브루틴을 나타낸다.

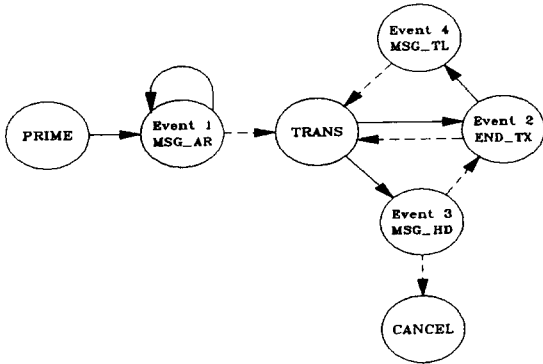


그림 2. J1850 시뮬레이션모델의 사건 다이어그램  
Fig. 2. Event Diagram for J1850 Simulation Model

Prime은 각 스테이션에 도착하는 첫 프레임을 스케줄한다. MSG\_AR은 해당 스테이션의 다음 프레임 도착을 스케줄하고, 도착한 프레임을 큐(queue)에 삽입하며, 전송 가능한 상태라면 TRANS를 호출한다. TRANS는 프레임의 전송 종료와 각 스테이션에 프레임의 첫부분이 도착함을 스케줄한다. END\_TX는 정상적인 전송 종료의 경우에 큐에서 프레임을 제거하며, 각 스테이션에 프레임의 끝부분 도착을 스케줄하고, 전송 가능한 상태라면 TRANS를 호출한다. MSG\_HD는 충돌이 발생하여 중재에서 졌을 경우에 스케줄된 END\_TX를 취소하고 곧 END\_TX를 실행한다. MSG\_TL은 큐에 프레임이 존재하고, 어느 스테이션도 전송하지 않는 경우 TRANS를 호출한다.

## 4. J1850 프로토콜의 성능 평가

### 4.1 실험 조건

앞에서 설명된 시뮬레이션 모델을 이용하여 데이터 필드 길이(0~7bytes)와 스테이션의 수(2~24)를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였다. 모든 스테이션에 생성되는 프레임은 동일한 통계적 특성을 갖고 생성되는 것으로 가정하였다. 또한, 전송속도는 PWM의 경우인 41.6kbps로 가정하였고, 데이터 필드 길이와 스테이션의 수에 따른 트래픽은 Table 1에 나타내었다.

표 1. 스테이션 수와 데이터 필드 길이에 따른 트래픽  
Table 1. Traffic with Data Field Length & Number of Stations

		Data Field (byte)							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Number of Stations	2	0.048	0.057	0.065	0.074	0.082	0.091	0.099	0.108
	4	0.096	0.113	0.130	0.147	0.165	0.182	0.199	0.216
	6	0.144	0.170	0.196	0.221	0.247	0.272	0.298	0.324
	8	0.192	0.226	0.261	0.295	0.329	0.363	0.397	0.432
	10	0.240	0.283	0.326	0.369	0.411	0.454	0.497	0.540
	12	0.288	0.340	0.391	0.442	0.494	0.545	0.596	0.647
	14	0.337	0.396	0.456	0.516	0.576	0.636	0.696	0.755
	16	0.385	0.453	0.521	0.590	0.658	0.726	0.795	0.863
	18	0.433	0.510	0.587	0.663	0.740	0.817	0.894	0.971
	20	0.481	0.566	0.652	0.737	0.823	0.908	0.994	1.079
	22	0.529	0.623	0.717	0.811	0.905	0.999	1.093	1.187
	24	0.577	0.679	0.782	0.885	0.987	1.090	1.192	1.295
Simulation Time	0.5E06 ~ 2.5E06 (μsec)								
Queue Capacity	5								
Message Arrival Period	분포	Uniform							
	평균	45000 [ 0 ~ 90000 ] (μsec)							

### 4.2 실험 결과

Table 1의 실험조건에 대한 결과로써 전송실패확률은 Fig. 3, 전송지연은 Fig. 4, 그리고 throughput은 Fig. 5에 각각 나타내었다.

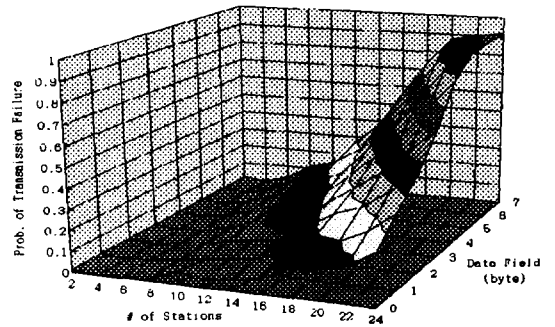


그림 3. 전송실패확률  
Fig. 3. Probability of Transmission Failure

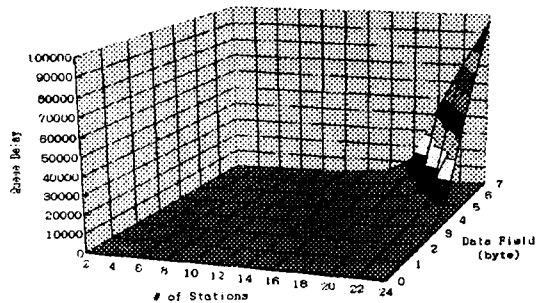


그림 4. 평균전송지연  
Fig. 4. Average Queue Delay

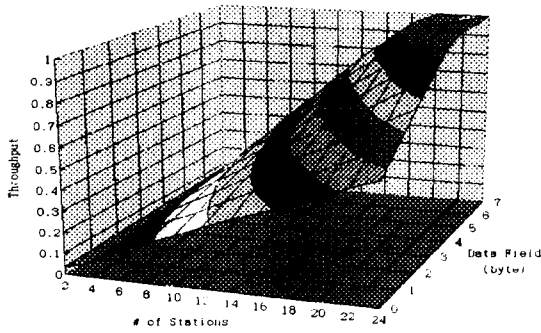


그림 5. 처리율  
Fig. 5. Throughput

먼저, 전송실패확률을 나타낸 Fig. 3에서 보면, 전송실패확률은 전송실패횟수를 전송시도횟수로 나눈 것으로 정의하였는데, 프레임 길이가 증가함에 따라서, 또한 스테이션의 수가 증가함에 따라서 전송실패확률이 증가함을 관찰할 수 있다. 이것은 프레임 길이의 증가에 따른 프레임의 전송시간이 증가하게 되고 그동안 생성되는 프레임의 수가 증가하여 생성된 프레임에 의한 전송시도가 증가하게 되므로 전송실패확률이 증가하게 된다. 또, 스테이션의 수가 증가함에 따라 생성되는 프레임의 수가 증가하게 되므로 전송실패확률이 증가하게 된다.

Fig. 4에서는 각 프레임들이 겪는 queue delay의 평균값을 보이고 있다. Queue delay는 프레임이 생성되어 전송큐에 삽입된 순간부터 그 프레임의 첫 번째 비트가 전송되는 순간까지의 시간으로 정의하였다. 그림에서 나타난 것과 같이 프레임의 길이가 증가함에 따라서, 또한 스테이션의 수가 증가함에 따라서 평균 queue delay가 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 특히, 트래픽이 높은 부분에서는 비선형적으로 급격히 증가하고 있다. 이것은 프레임 길이의 증가와 스테이션 수의 증가는 네트워크의 사용빈도를 증가시키고 그에 따라서 전송실패확률이 증가하는 현상이기 때문이다.

마지막으로, Fig. 5에서는 네트워크의 총가용 전송량에 대한 실제 전송량의 비율인 throughput을 보이고 있다. 프레임의 길이가 증가함에 따라서, 또한 스테이션의 수가 증가함에 따라서 throughput이 증가한다. 트래픽이 낮은 경우에는 생성되는 프레임의 거의 대부분이 전송되어 throughput은 트래픽과 거의 동일한 값을 나타내며 선형적으로 증가하는 것이 관찰되었다. 트래픽이 높은 경우에는 네트워크의 사용빈도와 충돌확률이 증가하여 queue delay가 증가하고 이에 따라서 다음에 생성된 프레임이 제거될 확률이 증가된다. 그러므로, throughput은 트래픽보다 현저히 작아진다. 한편, 전송할 데이터가 없더라도 오버헤드(start of frame, header, CRC, end of data, 그리고 end of frame) 때문에, throughput은 어느 정도의 값을 갖게 된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차량용 데이터 통신 프로토콜인 SAE J1850의

시뮬레이션 모델을 개발하였고, 일정한 프레임 발생 주기에 대하여 데이터 필드의 길이와 스테이션의 수를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 전송실패확률은 트래픽의 증가에 따라 증가하며 트래픽이 100%를 상회하는 경우 70%이상으로 증가하는 것이 관찰되었다.
- 2) 트래픽이 높은 경우 충돌이 많이 발생하고 이로 인하여 큐에서의 전송지연이 비선형적으로 증가됨이 관찰되었다. 특히, 최대 전송지연이 수십 msec에까지 도달하기 때문에 실시간 제어에 사용된다면 매우 심각한 문제가 될 수 있을 것으로 추정된다.
- 3) 트래픽이 낮은 경우는 throughput이 트래픽 증가와 거의 비슷하게 증가하지만, 트래픽이 100%를 넘는 경우는 충돌과 프레임 reject의 증가로 인하여 throughput은 네트워크의 최대 throughput인 100%까지만 증가됨이 관찰되었다.

## 참고 문헌

1. S. H. Hong, S. Lee, A. Ray and P. J. Egbelu, "Evaluation of Token Ring and Token Bus Protocols for Distributed Digital Avionics", IEEE Montech '86 Conference on Antennas and Communications, Montreal, Canada, September 1986
2. A. Ray, "Performance Evaluation of Medium Access Control Protocols for Distributed Digital Avionics", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol.109, December 1987
3. W. Stallings, *Local and Metropolitan Area Networks*, Macmillan, 1993
4. "SAE J1850 Revised JUL95", Society of Automotive Engineers, 1995
5. David S. Boehmer, "Integrated J1850 Protocol Provides for a Low-Cost Networking Solution", SAE paper 960123
6. Arnold W. Millsap, Mark T. Lowden, Michael A. Folkerts, Siegfried Dais and Jan Unruh, "Mapping SAE J1850 Messages into CAN Version 2.0", SAE paper 930437
7. "CAN Specification Version 2.0", Philips Semiconductors, 1991
8. 남상운, 윤정아, 이석, "차량통신용 CAN 프로토콜의 시뮬레이션", 대한기계학회 춘계학술대회논문집(A), pp.687-692, 1996
9. H. Sakamoto, et al., "The Development of an Advanced Protocol for Automotive Local Multiplexing Network", *自動車技術*, Vol.48, No.8, 1994
10. C. Pegden, R. Shannon and Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, 1990
11. A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed. McGraw-Hill, 1990