

차량용 데이터 통신을 위한 네트워크 프로토콜의 평가

Evaluation of Network Protocols for Automotive Data Communication

윤정아, 남상운, 김기웅, 이석
(Jung-A Yun, Sang-Woon Nam, Kee Woong Kim and Suk Lee)

Abstract : The growing number of electronic components used in automobiles has given rise to problems concerning the increasing number, size and weight of the wiring harnesses. As an approach to resolve these problems, multiplexed wiring systems using automotive communication protocol such as Controller Area Network(CAN), Advanced PALMNET and J1850 have been developed by many automobile companies. In order to compare these protocols quantitatively, this paper presents the performance evaluation of CAN and Advanced PALMNET via discrete event simulation. Through numerous simulation experiments, several important quantitative performance factors such as the probability of a transmission failure, average system delay(data latency), and throughput have been evaluated.

Keywords : multiplexed wiring systems, controller area network(CAN), advanced PALMNET(advanced protocol for automotive local area multiplexing network), discrete event simulation

I. 서론

차량 성능의 향상과 고기능화는 각종 전자 기술의 발달에 상당히 기인하고 있으며, 이러한 예로서 전자 연료 분사 장치(Electronic Fuel Injection, EFI), 에어백(air bag), 미끄럼 방지 제동 장치(Antilock Braking System, ABS) 그리고 위치 기억 기능을 가진 운전석(memory seat) 등을 들 수 있다. 이와 같은 장치들은 제 기능을 수행하기 위해서 자동차의 여러 곳에 분산된 제어기(control unit)와 센서(sensor), 액추에이터(actuator)를 갖추고, 그들 간의 통신에 의한 정보 교환을 필요로 한다.

이러한 정보 교환을 위하여 전통적으로 직접적인 전기 배선, 즉 각 신호당 하나의 전선(point-to-point)을 사용하여 왔다. 이 같은 방법은 접속되어야 할 기구의 수가 많지 않은 경우에는 타당하지만, 오늘날과 같이 많은 기구가 자동차 내에서 상호 신호를 교환해야 하는 경우에는 많은 수의 전선과 접속장치의 설치로 인한 생산비용과 불량률의 증가, 차량 중량의 증가와 이에 따른 연비의 악화, 전선 설치를 위한 공간 부족, 전장 시스템의 고장 진단에 대한 난점 등과 같은 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다.

이와 같은 어려움을 극복하기 위하여 많은 자동차업체와 부품업체들이 항공기나 우주선에 사용되는 fly-by-wire 기법[1]을 도입하여 차량용 복합전선 장치(multiplexed wiring system) 또는 차량 네트워크로 불리는 통신 네트워크를 사용하는 것을 제안하고 있다. 이 방법은 차량에 지역 통신망(Local Area Network, LAN)과 유사한 통신망을 설치하고 차량의 주요 부분에 통신 스테이션을 설치하여 여러 전장 시스템을 연결하는 것이다. 즉, 각 스테이션은 디지털화된 정보를 송수신할 수 있으며, 제어에 관련된 구성장치 뿐만 아니라 운전자가 직접 조작할 수 있는 스위치와, 램프와 같은 전기적인 부하들을 연결시킬 수 있다. 이러한 네트워크를 이용한 전장 시스템의 구성은 여러 가닥의 복잡한 배선

을 제거함으로써 전통적 구성이 겪는 어려움을 해소할 수 있을 뿐만 아니라 효율적인 정보의 공유로 고도의 기능을 제공하며 고장 진단이 수월해지며 백업 시스템(backup system)의 설치와 운영이 가능하다.

이러한 차량 네트워크를 위한 프로토콜이 이미 많이 개발되었는데, 독일의 Bosch에서 개발한 Controller Area Network(CAN)[2][3], 일본 마즈다(Mazda)의 Advanced Protocol for Automotive Low and Medium speed Network (PALMNET)[4][5], 미국 자동차 학회(Society of Automotive Engineers, SAE)에서 개발한 J1850[6] 등을 예로 들 수 있다.

차량용 네트워크의 실시간 제어 시스템에 대한 간단한 예를 그림 1에 나타내었다. 4륜 미끄럼방지장치(Four-Wheel ABS)는 각 바퀴에 장착된 속도센서에서 감지한 신호들을 네트워크상에 전송하며, 이를 ABS 시스템의 ECU에서 이것을 참조하게 된다. 그리고, ABS 시스템이 가동하게 되면 참조된 센서신호에 따라 브레이크와 연결된 유압 시스템의 솔레노이드 밸브가 작동한다.

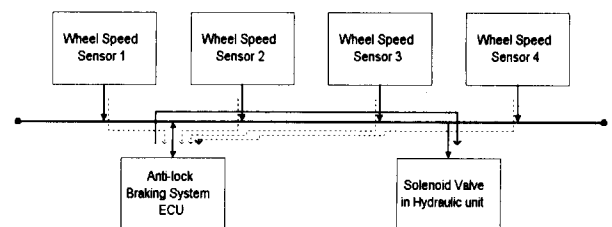


그림 1. 차량용 네트워크의 실시간 제어 시스템에의 적용 예.

Fig. 1. Schematic diagram of an ABS system connected by multiplexing network.

현재, 국내업체에서는 이러한 기술을 도입하는 단계이므로 여러 네트워크 프로토콜의 객관적인 평가를 통하여 적절한 프로토콜을 선정하는 것이 필요하다. 이러한 노력의 하나로 실시간 제어 상황에서 CAN의 성능을 평가하였는데 [7] 전송속도와 동기화 방법에 대하여 초점을 맞추어 연구

접수일자 : 1997. 2. 24., 수정완료: 1997. 11. 22.

윤정아, 남상운, 김기웅 : 부산대학교 생산기계공학과

이 석 : 부산대학교 기계공학부

※ 본 논문은 1995년도 한국학술진흥재단에서 지원하여 연구하였습니다.

를 수행하였다. 보다 일반적인 평가의 핵심인 네트워크에서 전송되는 메시지 또는 프레임의 전송 지연과 데이터 처리율 등을 산출하기 위하여 컴퓨터를 이용한 이산 사상 시뮬레이션(discrete event simulation)[8]을 사용할 수 있는데 이러한 방법은 해석적인 기법에 필요한 가정없이 보다 현실적인 상황에서 평가를 수행할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 이산 사상 시뮬레이션 언어인 SIMAN[8]을 사용하여 CAN과 Advanced PALMNET 프로토콜의 시뮬레이션 모델을 개발하고 여러 상황에서 시뮬레이션을 수행하여 프로토콜의 성능을 평가·비교하였다. 특히 정성적인 프로토콜의 평가보다는 성능의 정량적인 면을 제시함으로써 실제 네트워크 시스템 설계시에 필요한 파라미터 선정에 도움을 줄 수 있는 도구를 개발하는데 초점을 맞추었다.

본 논문은 이 서론을 포함하여 다섯 절로 이루어져 있다. 2절에서는 CAN과 Advanced PALMNET을 소개하고 3절에서는 개발된 시뮬레이션 모델에 대하여 설명한다. 4절은 시뮬레이션을 수행한 결과를 담고 있으며 마지막 5절에서는 연구 결과를 토대로 얻은 결론을 수록하였다.

II. CAN과 advanced PALMNET

CAN은 차량 내에서 제어기, 센서, 액츄에이터 등을 연결하기 위해 Bosch사에서 개발한 시리얼 통신 프로토콜이다. 시리얼 데이터 버스를 이용해 배선설비의 크기와 커넥터의 수를 줄여 주고, 모든 스테이션이 동등한 제어권을 가지는 분산접속통제(distributed access control)의 원칙을 이용한다[2][3]. CAN의 특징으로 빠른 전송 속도, 유연성, 높은 데이터 안정성, 분산접속통제 방식, 시스템 내의 데이터 일관성, 에러 감지 기능 등을 들 수 있다.

한편, 1989년에 분산제어방식의 차량내 LAN 시스템으로 PALMNET이 개발되어서, 1990년에는 Mazda에 의해 Eunos Cosmo에 성공적으로 장착되었고[4], 이러한 PALMNET 프로토콜의 기술적 특징을 바탕으로 새로운 프로토콜인 Advanced PALMNET이 개발되었다[5]. Advanced PALMNET 프로토콜은 CAN과 마찬가지로 분산접속통제방식을 사용하며, 중저속의 125Kbps이하의 전송속도와 고속의 1Mbps이하의 전송속도를 제공하는 통신방식이다.

1. 매체 접속 통제 (Medium access control) 방식

네트워크에 다수의 스테이션이 접속되어 있기 때문에 어느 스테이션이 전송을 할 것인가를 결정하는 기능을 매체접속통제라고 하며 CAN과 Advanced PALMNET은 동일한 분산형 접속통제방식을 사용하고 있다. 이러한 접속통제를 수행하고 네트워크에서 전송되는 메시지를 구분하기 위하여 메시지마다 ID(identifier)가 부여된다.

일반적인 LAN 프로토콜과 달리 CAN과 Advanced PALMNET은 메시지의 내용에 따라 ID를 부여한다(content-based addressing). 즉, 엔진 회전수를 전송하기 위한 메시지는 생성된 장소에 관계없이 동일한 ID를 갖게 되는 것이다. 이러한 내용에 의한 주소지정 방식은 어떤 한 스테이션에서 메시지를 보내고자 할 때, 데이터와 ID를 함께 보내게 되는데, 이때 다른 모든 스테이션들은 수신 상태에서 대기하다가 메시지를 수신하면, ID로써 그 내용이 자신과 관련성이 있는가를 체크하여 관련성이 있으면 받아들여서 저장하고 그렇지 않으면 무시하는 기법이다. 이렇게 부여된 ID는 메시지를 구분하는 것뿐만 아니라 각 메시지의 우선 순위를 결정하는데 이용된다. 즉, 하나 이상의 메시지가 거의 동시에 전송되어야 할 때 어느 것이 먼저 전송되어야 하는 결정이 ID를 이용하여 내려진다. 이같은 기능이 그림 2에

요약되어 있다. 그림 2에 나타난 것과 같이 메시지의 전송이 이루어지기 전에 항상 네트워크에 다른 전송이 있는지를 확인함으로써 이미 시작된 다른 메시지의 전송을 방해하지 않게 된다. 하지만, 전자기파가 네트워크 케이블을 따라 전파

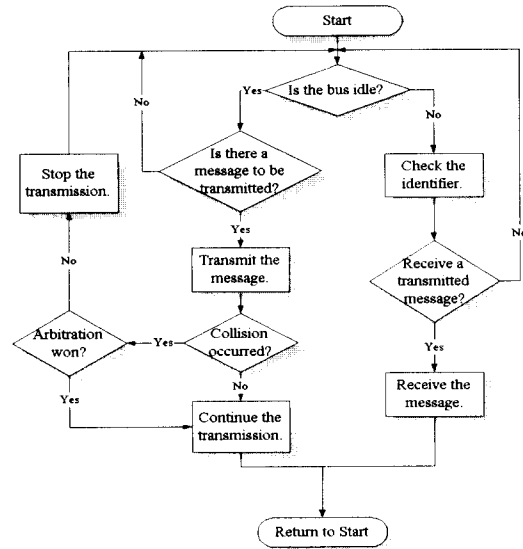


그림 2. 스테이션의 작동 논리.
Fig. 2. Operational logic of a station.

되는데는 시간이 필요하므로 이러한 시간간격 내에서 둘 이상의 스테이션이 전송을 시작하면 다수의 메시지가 충돌을 일으키게 된다.

이러한 충돌을 인지하고 우선 순위가 높은 메시지를 우선적으로 전송하기 위하여 모든 스테이션은 자신이 전송하는 동안 네트워크에서 전송되는 내용을 동시에 수신하고 자신이 전송한 내용과 일치하는지를 비교한다. 전송한 것과 수신한 것이 서로 다르게 되면 충돌이라고 인식하고 자신이 보낸 메시지의 ID와 수신된 ID의 비트를 하나씩 비교하여 수치적인 값이 낮은 메시지에 우선권을 부여한다. 즉, 자신의 ID값이 낮으면 전송을 계속하고, 그 반대의 경우에는 즉시 전송을 중단하여 가장 낮은 ID값을 가진 메시지가 전송될 수 있도록 하는 것이다. 이같은 ID에 의한 비트 중재 방식(identifier-based bitwise arbitration)은 정보와 시간의 손실이 발생하는 것을 방지하기 때문에 비파괴적 버스 액세스(non-destructive bus access)라고 불리며 파괴적 버스 액세스의 대표적 예인 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)[7]와는 달리 네트워크의 부하가 상당히 증가하여도 효율적인 통신이 가능하다.

2. 차량용 프로토콜의 계층 구조

CAN은 5Kbps(kilobits per second)에서 1Mbps(megabits per second)까지 다양한 전송속도를 제공하며, 토폴로지로는 버스형(bus structure)과 스타형(star structure)을 지원한다. CAN의 계층 구조[3]는 물리(physical) 계층, 트랜스퍼(transfer) 계층, 오브젝트(object) 계층의 3계층으로 나뉘어진다. 물리 계층은 신호들이 실제적으로 어떻게 전송되는지를 정의하는 층으로서 신호 레벨과 비트 표현방법, 전송매체 등을 정의하게 된다. 트랜스퍼 계층은 CAN 프로토콜의 핵심 부분으로서 받은 메시지를 오브젝트 계층에 보내고 오브젝트 계층으로부터 전송되는 메시지를 받아들이는 일을 수행한다. 그 세부 사항으로서는 고장 제한(fault confinement) 기능, 오류 감지 및 신호, 메시지를 올바르게 수신했을 때 보내는 역크날리지먼트(acknowledgement) 기능,

메시지 충돌 중재 기능, 메시지 프레임화, 전송률과 타이밍 정의 등이다. 오버젝트 계층은 어떤 메시지가 전송되는지를 찾고, 트랜스퍼 계층으로부터 받은 메시지가 실제로 어떻게 사용되는지를 결정하며, 하드웨어와 관련된 응용 계층에 인터페이스를 제공하는 일을 하게 된다.

Advanced PALMNET의 계층 구조[5]는 OSI(Open Systems Interconnection) 계층구조[7]의 물리 계층과 데이터링크 계층으로 나뉘어진다. 물리 계층에서는 전송매체, 버스 인터페이스 방식, 비트 표현 방식, 동기화 방식, 전송률 등을 정의하고, 데이터링크 계층에서는 액세스 방식, 우선순위 제어, 에러 인식 및 메시지 프레임화, 역크날리지먼트 방식 등을 정의한다.

3. 메시지 포맷(Message format)

CAN에서는 전송되는 메시지를 프레임(frame)이라고 일컫는데, 데이터 프레임(data frame), 리모트 프레임(remote frame), 에러 프레임(error frame), 오버로드 프레임(overflow frame)이라는 4개의 프레임 타입이 정의되어 있다. 데이터 프레임은 데이터를 전송하는 프레임으로 표 1과 같이 7개의 필드(field) 형식으로 구성되어 있으며 최대 8bytes의 데이터를 전송할 수 있다. 여기서 각 비트들이 가질 수 있는 값으로서 우성(dominant)을 나타내는 'd'(0으로 표시)와 열성(recessive)을 나타내는 'r'(1로 표시)의 두 가지가 있다. 리모트 프레임은 데이터 프레임의 전송을 요구하는 프레임으로 데이터 프레임의 데이터 필드가 제외된 6개의 필드로 구성된다.

데이터 프레임과 달리, 리모트 프레임의 RTR 비트(arbitration field 내의)는 'r' 값을 갖고, 제어 필드에서 Data Length Code(DLC)는 데이터 프레임에서의 DLC와 형식은

표 1. 데이터 프레임 형식.

Table 1. Data frame format.

BIT VALUE	FIELD NAME AND FUNCTION	FIELD LENGTH
d	Start of Frame · 메시지의 시작을 알리고 모든 스테이션을 동기화	1
	Arbitration Field · Identifier : 11bits	12
d	· RTR Bit : 1 bit	
d d	Control Field · Reserved bits : 2 bits	
	· Data Length Code(DLC) : 데이터 필드상의 데이터 길이를 정해 주기 위한 코드 (4 bits wide)	6
	Data Field · 데이터 길이가 0인 메시지는 분산된 프로세스의 동기화를 위해 사용	0 ? 64
	CRC Field · CRC Sequence : 데이터 필드의 마지막 비트를 전송 또는 수신하고 난 후 만들어진 CRC 시퀀스는 15 비트의 쉬프트 레지스터를 사용하여 에러 유무를 체크.	16
r	· CRC Delimiter : 1 bit	
r	ACK Field · ACK slot과 ACK Delimiter으로 구성 · 메시지를 올바르게 받은 수신 스테이션은 'd' 비트를 송신 스테이션에게 보냄으로써 ACK 슬롯의 'r' 비트를 'd' 비트로 바꾼다.	2
r r	End of Frame · 메시지의 끝을 알린다.	7

같으나 아무런 의미가 없다. 그밖에 에러가 발생했을 때 모든 스테이션들에 의해서 전송되는 에러 프레임과 수신된 프레임의 처리를 위한 시간을 확보하기 위해 사용되는 오버로드 프레임이 있으며, 모든 프레임들은 인터페이스 스페이스에 의해 앞의 프레임과 분리된다. Advanced PALMNET의 프레임 타입은 표 2와 같으며, 중저속용과 고속용에 따라 달라지게 된다. Start of Frame(SOF)은 프레임의 시작을 나타내는 부분으로서 모두 8bits로 이루어지며, 비트의 동기화를 위해서 6개의 연속적인 'd' 비트와 각각 하나씩의 'r' 비트와 'd' 비트로 구성된다. PRI(frame priority)는 우선순위를 위한 부분으로, CAN에서는 ID가 프레임의 내용구분과 우선순위결정 기능을 동시에 수행하는데 반해 Advanced PALMNET에서는 PRI는 우선순위에 따른 네트워크 사용 권리를 조정하기 위해 ID 코드와는 독립적으로 사용된다[7]. TYPE(frame type) 필드는 전송하는 프레임의 형식을 정해주는 부분으로서, 전송 요청 프레임, SDG(Simultaneous Data Gathering) 프레임 등과 데이터 프레임을 구분 짓는다. 데이터의 ID를 나타내는 ID(data identifier) 필드는 8bits이며, 차량내의 신호의 종류에 따른 ID값을 나타낸다. 데이터 필드는 중저속용에서는 데이터 길이가 4 bytes까지이며, 고속용에서는 한 스테이션이 여러 스테이션들로부터 동시에 데이터를 모으게 하는 SDG 방식 사용 여부에 따라 데이터 길이를 4bytes 또는 8bytes로 할 수 있다.

에러 감지를 위해서 CRC(Cyclic Redundancing Check) 필드를 사용하며, 각각의 스테이션들이 데이터를 정상적으로 수신한 경우, 전송 스테이션의 동기화 비트(2bits)에 따라서 ANC(Acknowledgement for Network Control) 영역 내의 할당되어진 위치에 응답 신호(ACK)를 송신하여 하나의 전

표 2. Advanced PALMNET의 데이터 프레임 형식.

Table 2. Data frame format of advanced PALMNET.

BIT VALUE	FIELD NAME AND FUNCTION	FIELD LENGTH
d d d d d d r d	Start of Frame(SOF) · 프레임의 시작을 알리고 모든 스테이션을 동기화	8
	Frame Priority(PRI) · 우선 순위를 정해준다.	8
	Frame Type · 프레임의 전송 형식을 정해준다.	8
	Data Identifier(ID)	8
	Data Field · 중저속용 : 4bytes · 고속용 : SDG방식을 위해 4 bytes 또는 8 bytes	32 or 64
	CRC Field · 에러 감지를 위한 코드 · 중저속용 : 8 bits · 고속용 : 16 bits	8 or 16
	End of Data(EOD) · 고속용에만 사용 · 비트 동기화 방식을 스위칭하는데 사용	2
	ANC(Acknowledgement for Network Control) Field · 메시지를 받은 노드에서 역크날리지먼트를 보낸다. · 중저속용 : 17 bits(Ack 확인비트 포함) · 고속용 : 16 bits	16 or 17
	End of Frame · 프레임의 끝을 알린다.	10

송프레임에서 역크날리지먼트 신호를 만드는 ANC 방식을 사용한다. 중저속용 프로토콜에서는 ANC 필드의 크기가 고속용보다 1bit이 많은데 이는 중저속용에서는 ANC 확인 비트를 포함하기 때문이다. EOF는 프레임의 끝을 알리는것으로 다음에 전송할 노드에게 전송 허용을 한다.

III. 통신 프로토콜의 시뮬레이션 모델 개발

한 스테이션에서 메시지가 전송을 위하여 준비된 후에 완전히 전송이 완료될 때까지 필요한 시간(전송지연)은 경우에 따라 다르게 된다. 왜냐하면 다른 메시지의 전송이 이미 진행 중이면 그 메시지의 전송이 끝날 때까지 기다려야 하고, 또, 전송 도중 다른 메시지와 충돌을 일으키면 다시 전송을 시도해야 하기 때문이다. 이같은 전송지연은 네트워크에 접속된 스테이션의 수, 메시지가 생성되는 빈도, 메시지의 길이 등 여러 인자의 영향을 받는다. 차량 시스템에서 전송되고 수신되는 메시지는 차량의 작동을 위하여 필요한 정보를 담고 있기 때문에 어떠한 시간 한도 내에 전송되어야 할 필요가 있고, 네트워크 시스템 설계시 메시지들이 얼마나 오랜 시간동안 지연을 겪고 전송될 것인가에 대한 사전지식이 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 시뮬레이션 언어인 SIMAN을 사용하여 CAN 프로토콜과 Advanced PALMNET 프로토콜의 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

개발된 시뮬레이션 모델에서는 스테이션의 수, 각 스테이션에서 생성되는 메시지의 시간 분포와 메시지 길이에 대한 통계적 정보 그리고 전송 속도 등을 입력으로 받아들인다. 이 같은 입력에 대해 시뮬레이션을 수행하여 전송지연의 평균 및 표준편차, 전송된 메시지 수, 메시지 충돌 회수, 정보 처리율, 그리고 생성된 메시지가 제거(reject)되는 수 등의 출력을 얻을 수 있다.

이 시뮬레이션 모델은 메시지 전송시 에러가 발생하지 않는 정상적인 경우로 가정하였다. 각각의 스테이션은 메시지 생성시간과 메시지 길이에 대한 확률분포를 다르게 정의하고 있는 4개의 트래픽 그룹 중 하나를 트래픽 특성으로 갖도록 개발되었다. 또한, 실제 프로토콜에서는 우선순위의 비교를 위해 CAN에서는 중재 필드에 있는 ID 코드의 값을, Advanced PALMNET에서는 PRI 필드에 있는 8비트의 값을 한 비트씩 비교하지만, 실제 모든 비트들을 비교하여 시뮬레이션을 수행하면 시뮬레이션 수행시간이 필요이상으로 길어지므로 본 시뮬레이션 모델에서는 전체의 값으로 환산하여 비교하는 방법을 사용하였다. 그리고, 각 스테이션의 ID의 우선순위는 균일한 분포를 가지고 랜덤하게 발생되도록 하였다. 또한, 두 개 이상의 메시지가 충돌을 일으키는 경우를 두 가지로 분류할 수 있는데 그 중의 하나만을 고려하였다. 그 첫 경우는 네트워크의 사용자가 없을 때 두 개 이상의 스테이션에서 거의 동시에 메시지가 생성되는 경우이고 두 번째 경우는 다른 메시지가 전송되고 있는 동안 두 개 이상의 메시지가 생성되어 전송 중이던 메시지의 전송이 완료되는 순간 충돌을 일으키는 경우이다. 두 개 이상의 메시지가 생성되어야 하는 시간 간격을 살펴보면 전자는 전자파가 네트워크의 한 끝에서 다른 끝까지 파급되는 시간(100m인 경우 약 0.5 microsecond) 동안이며 후자의 경우에는 한 메시지의 전송시간(수십 microsecond)이다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모델은 실행속도를 위하여 전자파의 경우는 무시하였다. 두 프로토콜에 대한 시뮬레이션 모델은 공통적인 구조를 갖고 있는데 prime, 4개의 사건(event) 그리고 2개의 서브루틴(subroutine)으로 구성되었다. 각각의 사건 및 서브루틴이 수행되는 시점과 그 수행기능들은 표 3에 설명되어 있다. 여기서 서브루틴 MSG_AR에서는 각 메

시지에 1)메시지 발생 시각, 2)ID 또는 PRI, 3)데이터의 길이, 4)메시지가 발생한 스테이션, 5)메시지가 전송되어야 할 스테이션 등의 속성이 부여된다. 그리고, 사건 선도(event diagram)[8]를 통해 시뮬레이션 모델을 단순화하여도식적으로 나타내면 그림 3과 같다.

실선의 화살표는 0이 아닌 지연(delay)을 가지고서 다음 사건이 스케줄되는 것을 나타내며, 점선의 화살표는 시간지연 없이 다음 사건이 스케줄 된다는 것을 나타낸다. 그리고 동그라미는 사건 또는 서브루틴을 나타낸다. 또한, SIMAN으로 프로그램을 작성할 때 블록을 이용하는 방법과 범용 프로그래밍 언어를 사용하여 사건 서브루틴을 작성하는 두 방법이 있는데 시뮬레이션 수행의 속도와 다양한 기능의 구현을 위하여 후자의 방법을 사용하였다.

표 3. 시뮬레이션 모델의 기능.

Table 3. Function of simulation model subroutines.

서브루틴	수행기능	수행시점
PRIME	* 파라메타들을 초기화 * 각 스테이션에 도착하는 첫 메시지들을 스케줄	시뮬레이션 시작시
MSG_AR (EVENT 1)	* 해당 스테이션의 다음 메시지도착을 스케줄 * 도착한 메시지에 속성을 부여 * 도착한 메시지를 큐에 삽입 * 큐에 전송할 메시지가 있고 다른 메시지의 전송이 없으면 TRANS를 호출	메시지 도착
TRANS	* 메시지 전송이 끝나는 것을 스케줄 * 각 스테이션에 메시지 헤드의 도착을 스케줄	
END_TX (EVENT 2)	* 정상적으로 전송이 끝나는 경우 - 큐에서 가장 오래된 메시지를 꺼내서 제거 - 각 스테이션에 도착하는 메시지 꼬리를 스케줄 - 큐에 메시지가 더 있다면 TRANS를 호출	메시지의 전송완료
MSG_HD (EVENT 3)	* 충돌이 발생하여 ID의 비교에서 졌을 경우 - END_TX를 스케줄한 것을 취소 - 서브루틴인 CANCEL을 호출 - 곧바로 END_TX를 실행	
MSG_TL (EVENT 4)	* 큐에 메시지가 있고, 어느 스테이션도 전송 하지 않는 경우 - TRANS를 호출	메시지의 마지막 비트수신
CANCEL	* 스케줄된 사건을 취소	

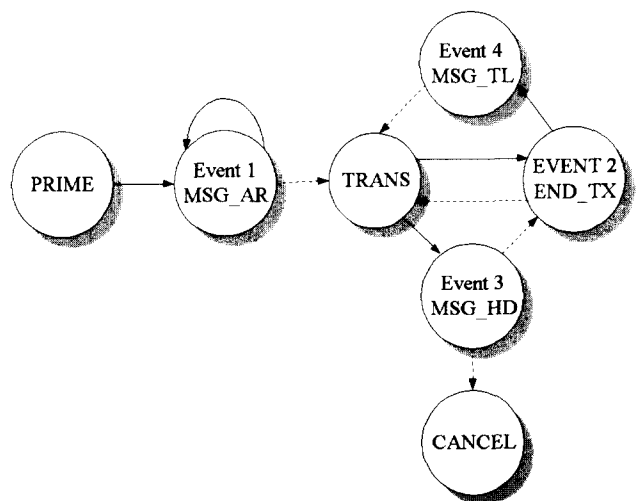


그림 3. 시뮬레이션 모델의 사건선도.
Fig. 3. Event diagram for simulation model.

IV. 성능평가 및 고찰

CAN과 Advanced PALMNET의 성능을 평가하기 위하여 다음과 같은 상황에서 시뮬레이션을 수행하였다.

- 모든 스테이션에서 생성되는 메시지는 동일한 통계적 특성을 갖는다.
- 생성되는 메시지는 모두 일정한 데이터 필드의 길이를 갖는 데이터 프레임이다.
- 한 스테이션에서 연속적으로 생성된 메시지의 생성시간 차이는 균일분포를 따르며 최소 512 μ s 최대 1536 μ s 사이에 존재한다.

이와 같은 상황에서 스테이션의 수를 2에서 16까지, 데이터 필드의 길이를 0byte에서 8byte까지 변화시키면서 1Mbps로 운영되는 네트워크에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 4는 각각의 스테이션 수와 데이터 필드 길이에 따른 네트워크 총용량에 대한 데이터 전송 부하(오버헤드는 제외)의 비인 데이터 트래픽(data traffic)을 보여주고 있다.

실험 조건에 대한 결과로서 CAN과 Advanced PALMNET의 데이터 필드 변화와 스테이션 수 변화에 따른 전송실패확률을 그림 4와 그림 5에, 평균 전송지연을 그림 6, 그림 7에 각각 나타내었으며, 그림 8과 그림 9는 데이터 처리율에 대한 것이다. 여기서 메시지의 발생주기가 균일분포를 따르게 한 것은 실시간 제어에 있어서 센서, 액추에이터, 컨트롤러등의 부시스템들의 샘플링 시간이 일정하고 다수의 제어루프가 네트워크를 공유하는 상황을 상정하였기 때문이다.

먼저, 전송실패확률은 전송실패횟수를 전송시도횟수로 나눈 것으로 정의하였는데, 그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 CAN과 Advanced PALMNET 모두 비슷한 경향을 보이고 있다. 즉, 데이터 필드 길이가 증가함에 따라 그리고 스테이션의 수가 증가함에 따라 전송실패확률이 증가함을 관찰할 수 있다. 이것은 데이터 필드 길이가 증가함에 따라 한 프레임을 전송하는 시간이 증가하게 되고, 또 스테이션 수가 증가함에 따라 한 프레임이 전송되는 동안 다른 스테이션에서 생성되는 프레임의 수가 증가하기 때문이다. 이에 따라 충돌이 더 많이 발생하여 전송실패확률이 증가하게 되는 것이다.

한편, CAN과 Advanced PALMNET의 전송실패확률을 비교해 보면 데이터 필드가 짧은 경우에 CAN이 Advanced PALMNET보다 좀더 낮은 전송실패확률을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 Advanced PALMNET의 오버헤드(고속

용인 경우는 76bits)가 CAN(44bits)보다 크기 때문에 데이터 필드 길이가 작다하더라도 스테이션 수가 증가하면 전송실패확률이 급격히 증가하는 현상을 보여주고 있다. 그리고, 전송실패확률이 최고 0.9까지 증가하는 것을 관찰할 수 있는데 이러한 경우에 성공적인 전송을 위하여 평균 10회의 전송시도를 반복해야하므로 네트워크의 설계에서는 이같은 상황을 배제하여야 한다.

그림 6과 그림 7에서는 각 프레임들이 겪은 전송지연(system delay)의 평균값을 보이고 있다. 전송지연은 한 스테이션에서 프레임이 생성되어 전송을 위하여 전송큐에 삽입된 순간부터 그 프레임의 마지막 비트가 전송완료되는 순간까지의 시간으로 정의하였다. 전송 실패확률과 마찬가지로 데이터 필드 길이가 증가함에 따라서, 또한 스테이션의 수가 증가함에 따라서 평균 전송지연이 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 트래픽이 높을수록 다른 프레임들이 전송하는 시간이 길게 되어 전송대기 중인 프레임은 전송중인 프레임의 전송완료를 기다려야 하고, 전송실패확률도 높아져서 다시 재전송해야 하는 경우가 증가하기 때문이다. 또, Advanced PALMNET의 긴 오버헤드로 인하여 같은 길이의 데이터 필드를 전송할 때 CAN보다 더 큰 전송지연을 겪는 것을 관찰할 수 있다. 그림 6에서 데이터 필드가 5이고 스테이션 수가 16일 때 데이터 필드 4, 6의 중

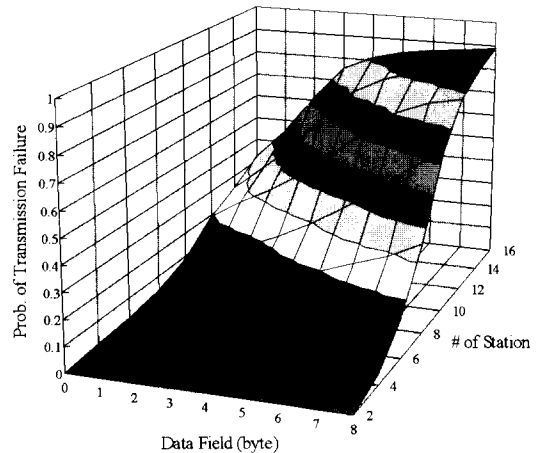


그림 4. CAN의 전송실패 확률.
Fig. 4. Probability of transmission failure of CAN.

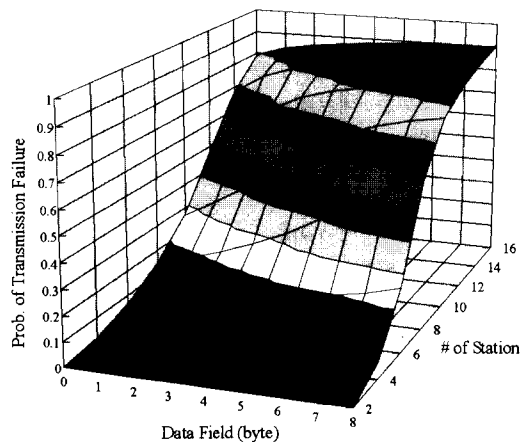


그림 5. Ad-PALMNET의 전송실패확률.
Fig 5. Probability of transmission failure of Ad-PALMNET.

표 4. 시뮬레이션 조건에 따른 트래픽.

Table 4. Data traffic according to simulation conditions.

		Data Field (byte)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Number of stations	2	0	0.016	0.031	0.047	0.062	0.078	0.094	0.109	0.125
	4	0	0.031	0.062	0.094	0.125	0.156	0.188	0.219	0.250
	6	0	0.047	0.094	0.141	0.188	0.234	0.281	0.328	0.375
	8	0	0.062	0.125	0.188	0.250	0.312	0.375	0.438	0.500
	10	0	0.078	0.156	0.234	0.312	0.391	0.469	0.547	0.625
	12	0	0.094	0.188	0.281	0.375	0.469	0.562	0.656	0.750
	14	0	0.109	0.219	0.328	0.438	0.547	0.656	0.766	0.875
16	0	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.750	0.875	1.000	
Simulation time	1500개의 메시지가 전송성공하는 동안									
Queue capacity	1									
Message arrival period	분포	Uniform								
	평균	1024 [512 ~ 1536] (μ s)								

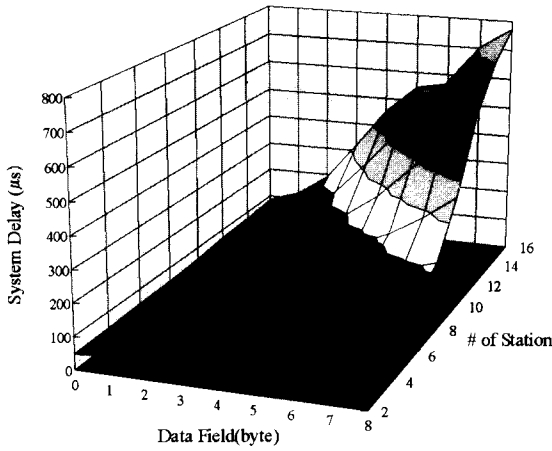


그림 6. CAN의 평균전송지연.
Fig. 6. Average system delay of CAN.

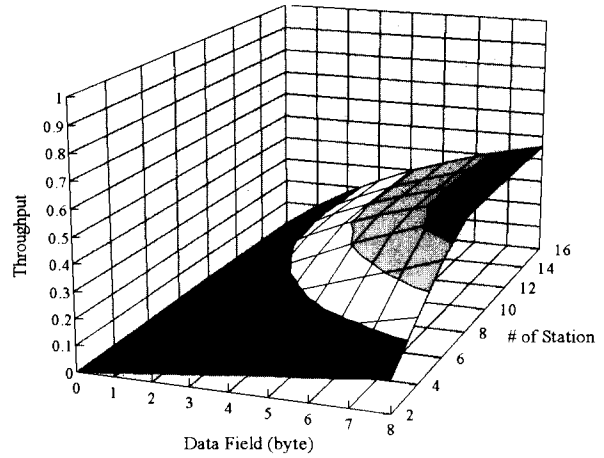


그림 9. Ad-PALMNET의 데이터 처리율.
Fig. 9. Throughput of Ad-PALMNET.

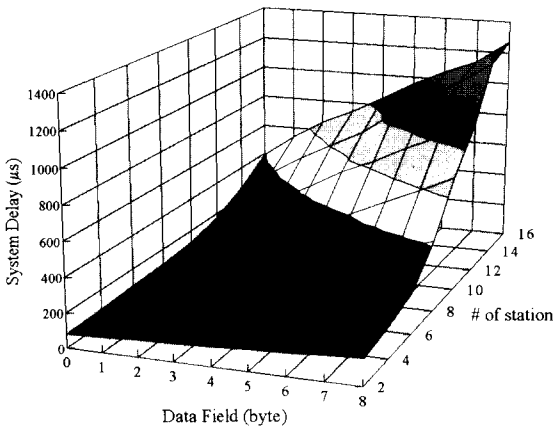


그림 7. Ad-PALMNET의 평균전송지연.
Fig. 7. Average system delay of Ad-PALMNET.

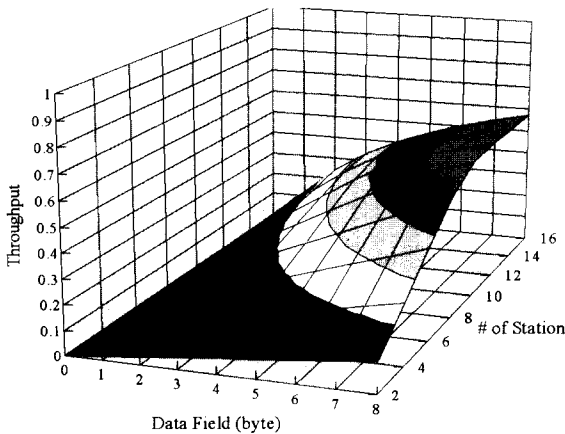


그림 8. CAN의 데이터 처리율.
Fig. 8. Throughput of CAN.

간 값이 아닌 데이터 필드가 4일 때와 거의 같은 값을 갖는 이유는 시뮬레이션 수행 상에서의 랜덤씨드(Random Seed)의 영향 때문인 것으로 추정되며 이 영향을 줄이기 위해서는 보다 늘어난 시뮬레이션 시간이나 다수의 랜덤씨드를 이

용한 시뮬레이션이 필요하다. 다음으로, 그림 8과 그림 9에서는 네트워크의 총가용 전송량에 대한 데이터 전송량의 비율인 데이터 처리율(throughput)을 보이고 있다. 데이터 필드 길이가 증가함에 따라서, 또한 스테이션의 수가 증가함에 따라서 데이터 처리율이 증가하는데, 각각 트래픽이 100%에 가까이 감에 따라 어느 일정한 값으로 수렴함을 보이고 있다.

트래픽이 낮은 경우에는 생성되는 프레임의 거의 대부분이 전송되어 데이터 처리율은 트래픽과 거의 동일한 값을 나타내며 선형적으로 증가한다. 그러나 트래픽이 높은 경우에는 네트워크의 사용빈도의 증가와 충돌횟수의 증가로 인한 전송실패확률의 증가로 전송지연이 증가하게 되고 이에 따라서 새로이 생성된 프레임이 전송큐에 들어가지 못하고 제거될 확률이 증가하게 된다. 그러므로, 트래픽은 계속 증가하지만 데이터 처리율은 어느 일정한 값에서 머물게 된다. 이러한 현상이 발생하면 전송하려는 센서값이나 제어기의 명령 등이 소멸되고 운전자의 스위치 조작을 알리는 신호도 제거될 수 있기 때문에 제어시스템의 성능에 큰 악영향을 미치고 운전자에게 불편함을 초래한다. 그러므로, 차량용 네트워크를 설계할 때 실시간 제어를 위한 짧은 전송지연도 중요하지만 이러한 데이터의 소실이 없는 영역에서 네트워크가 작동되도록 확인하는 것이 매우 중요하다. CAN과 Advanced PALMNET의 데이터 처리율 변화를 살펴보면 거의 같은 경향을 보여주지만, 역시 CAN의 짧은 오버헤드로 인하여 CAN이 Advanced PALMNET보다 높은 데이터 처리율을 보이고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 다중전선시스템(Multiplexed Wiring System)에 사용되는 차량용 통신 프로토콜인 CAN과 Advanced PALMNET(Protocol for Automotive Local Area Multiplexing Network)의 프로토콜을 분석하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 모델은 다양한 트래픽을 모사할 수 있으며 이러한 상황에서 전송실패 확률, 전송지연, 데이터 처리율을 정량적으로 평가할 수 있기 때문에 차량용 네트워크를 설계하는데 있어서 중요한 도구로 이용될 수 있다. 본 논문에서는 전송 데이터의 양과 스테이션의 수를 변화시키면서 CAN과 Advanced PALMNET의 성능을 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일반적으로 트래픽이 증가하게 되면 전송실패확률의

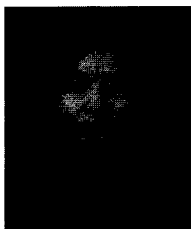
증가로 전송지연이 급격히 증가하고, 이는 전체 네트워크 시스템의 데이터 처리율에 큰 영향을 미친다. 메시지의 길이가 증가하면 전송하는데 필요한 시간이 길어지고 전송 도중에 생성된 다른 메시지가 많아지기 때문에 전송실패 확률이 증가하게 된다. 또한, 스테이션의 수가 많아지면 동일한 시간 동안 생성되는 메시지의 수가 늘어나게 되므로 메시지 길이와 동일한 현상을 일으킨다. 전송실패 확률이 증가하면 전송지연이 따라서 증가하고 새로이 생성되는 메시지를 거부해야하기 때문에 데이터 처리율이 데이터 트래픽보다 낮아지게 된다.

2) 두 프로토콜을 비교했을 때 CAN의 오버헤드가 적기 때문에 Advanced PALMNET보다 정량적인 면에서 더 우수한 성능을 보인다. 단, 이러한 결론은 Advanced PALMNET의 분산 배치된 센서 등의 정보를 동시에 수집해 고속으로 처리해 주는 SDG (Simultaneous Data Gathering)와 네트워크에 접속된 모든 스테이션의 수신 응답을 얻어내어 1:n 통신의 전송 신뢰도를 높여주는 ANC (Acknowledge for Network Control)와 같은 기능을 이용한 네트워크의 효율적인 사용에 대한 효과를 고려하지 않은 것이므로 향후에 이에 대한 연구가 계속되어야겠다.

3) 시뮬레이션에서 사용한 상황에서 얻어진 평균 전송지연을 관찰한 결과, 두 프로토콜 모두 1ms내외의 평균 전송지연을 보이므로 수십ms 또는 그 이상의 샘플링 주기를 사용하는 자동차용 실시간 제어 시스템에 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 하지만, 두 프로토콜의 시뮬레이션 결과에서 데이터 처리율이 트래픽의 증가에 따라 차츰 그 증가하는 추세가 둔화되고 결국에는 일정하게 유지되는 것이 전송되지 못하고 거부된 메시지를 나타내기 때문에 데이터 처리율과 트래픽의 차이가 적은 부분에서 네트워크가 운영될 수 있도록 설계되어야 한다.

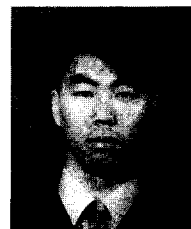
참고문헌

- [1] A. Ray, "Performance evaluation of medium access control protocols for distributed digital avionics," *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 109, December, 1987.
- [2] "Controller area network(CAN) -The breakthrough for the networking of electronics in the vehicle," Robert Bosch GmbH.
- [3] "CAN specification version 2.0," *Philips Semiconductors*, 1991.
- [4] T. Inoue et al., "Protocol for automotive local area network (PALMNET) - a newly developed in-vehicle communication system based on SAE J1850," *SAE Paper 890535*, 1989.
- [5] Hideki Kimura, Yusaku Himono et al., "The development of the advanced protocol for automotive local area multiplexing network (Advanced PALMNET)," *SAE paper 940365*, 1994.
- [6] "SAE J1850," *Society of Automobile Engineers*, 1995.
- [7] Bhargav P. Upender, "Analyzing the real-time characteristics of class C communications in CAN through discrete event simulations," *SAE paper 940133*, 1994.
- [8] A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed. McGraw-Hill, 1990.
- [9] C. Pegden, R. Shannon and Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, 1990.
- [10] W. Stallings, *Local and Metropolitan Area Networks*, Macmillan, 1993.



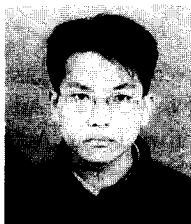
윤 정 아

1995년 부산대 생산기계공학과 졸업. 동대학원 석사(1997). 1997-현재 삼성전자 주입연구원. 관심분야는 차량항법장치.



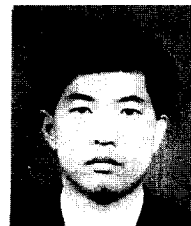
남 상 운

1995년 부산대 생산기계공학과 졸업. 동대학원 석사(1997). 1997-현재 LG전자 MTC 기술개발연구소 연구원. 관심분야는 네트워크, Machine Vision.



김 기 응

1996년 부산대 생산기계공학과 졸업. 1997-현재 동대학원 석사과정. 관심분야는 네트워크를 통한 분산제어.



이 석

1984년 서울대 기계공학과 졸업. 1985년 펜실바니아 주립대학 석사, 동대학 박사(1990). 1997년-현재 부산대학교 공과대학 조교수. 관심분야는 생산자동화를 위한 네트워크, 네트워크를 통한 분산제어, 네트워크의 성능관리.