

RS485 기반 다수 노드 제어용 저속통신망에서의 CSMA/CD 기법 적용 및 성능 개선 방안[†]

(Performance Analysis and Improvement of
RS485 Based Low Speed and Multi-Node CSMA/CD
for Control Network System)

김민기¹⁾, 최용우²⁾, 박동찬³⁾, 김석찬^{4)*}

(Min Ki Kim, Yong Wo Choi, Dong Chan Park, and Suk Chan Kim)

요약 본 논문에서는 저속이지만 다수 노드의 연결이 요구되는 산업용 제어통신망, 홈네트워크 등에서 널리 사용되는 RS485에 적용할 수 있는 CSMA/CD 기법을 제안하고, 기존의 Master-Slave 프로토콜인 Modbus와 성능을 비교하였다. 모의실험을 위해 실제 산업용 제어통신망을 모델링 하였고, 모의실험을 통하여 여러 전송속도에서 평균 전송 지연시간과 처리량이 크게 개선됨을 보였다.

핵심주제어 : RS485, CSMA/CD, Modbus, 산업용 제어통신망

Abstract In this paper, we suggested a RS485 based CSMA/CD protocol that is available in low speed multi-node networks such as industry control communication network and home network etc. The suggested protocol was compared to widely used Master-Slave protocol, Modbus. We modeled realistic control network and showed that the average delay and throughput performance were significantly improved in the different transmission rates.

Key Words : RS485, CSMA/CD, Modbus, Control Network

1. 서 론

* Corresponding Author : sckim@pusan.ac.kr

[†] 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

[†] 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

Manuscript November 20, 2014 / Revised February 11, 2015 / Accepted February 17, 2015

1) 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, 제1저자

2) 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, 제2저자

3) 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, 제3저자

4) 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, 교신저자

RS485는 시리얼 통신의 표준규격의 하나로써 2선식 반이중 다중점 직렬연결에 대한 OSI 모델의 물리계층 명세이다[1-3]. Recommended Standard (RS)라는 접두어가 그대로 기술의 이름으로 굳혀진 것처럼 RS485는 그 우수한 성능으로 산업용 통신은 물론이고 홈 어플라이언스, PC 네트워크등 각종 상용 전자기기들에 널리 사용되고 있다.

RS485 기반의 산업용 제어 통신망에서는 OSI 모

텔의 데이터링크 계층의 표준 프로토콜로 Modbus, Profibus 등을 사용하고 있다. 하지만 이들은 모두 Master-Slave 프로토콜로 개발되어 있으며, 최근의 산업용 제어 통신망의 데이터 수요를 따라가기에는 근본적으로 구조 자체에 문제가 있다. 실제 산업현장에서 Multi-Master 방식이 필요한 특수한 경우에는 CAN 혹은 Ethernet을 사용하지만[4], 두 가지 모두 물리계층과 데이터 링크계층을 모두 정의하기 때문에 범용성이 떨어진다. 또한 CAN 통신은 드라이버 이외에 별도의 컨트롤러가 필요하여 제조가격의 상승이 있고, Ethernet은 각 분기마다 허브를 설치하여야하기 때문에 비용은 물론 전원공급이 많이 필요한 단점이 있다[5].

본 논문에서는 RS485의 장점인 쉬운 설치와 가격 대비 우수한 통신 신뢰도, 높은 범용성을[5] Multi-Master 프로토콜에 이용하기 위하여 RS485 기반 CSMA/CD를 제안한다. 기존에 몇몇 시스템에서 RS485기반 CSMA/CD를 구현하려는 시도는 있었으나[6,7], 특수 목적에만 국한된 방식이었고 성능 개선점이 제한적이다. 본 논문에서는 패킷 길이 및 트래픽에 관한 모델을 설정하고 최대 256개 노드에 대해서 RS485기반 CSMA/CD의 성능을 각 전송속도별 처리량과 평균 지연 시간을 중심으로 성능을 분석하였다. 또한 이를 가장 널리 쓰이는 RS485 기반 Master-Slave 프로토콜인 Modbus[8,9]와 비교하여 성능이 크게 개선되는 것을 보였다.

2장에서는 기존의 산업용 제어 통신 시스템의 문제점을 분석하여 제안하는 방식이 필요함을 보이고, 3장에서는 시스템 모형에서 전송선로와 CSMA/CD에 관하여 서술 하였다. 4장에서는 모의실험 환경과 결과에 대해 분석하고, 마지막 5장에서 본 논문에서 제안하는 방식을 사용하여 얻는 이점과 산업환경에 대한 기여점을 정리한다.

2. 기존 산업용 제어 통신 시스템의 문제점

기존의 산업 현장에서 통신망을 구축하는데 가장 큰 문제는, 실제 통신망을 설치하는 작업 기사들이 그들의 전기 설비 기술에 비해 통신이론에 무지한 경우가 많다는 것이다. 이를테면, RS485 통신의 경우 거의 대부분의 제조사에서 통신선로를 하나 혹은

둘의 버스를 두고 다중점(Multi-Drop) 구조로 설치 및 배선하는 것을 권장하나, 현장에서는 설치 및 배선 작업이 불편하다는 이유로 Star 구조나 심지어는 Tree 구조로 작업하는 경우가 많다. 또한 가장 먼 거리에 있는 노드에는 종단저항(Terminate)을 삽입하여 고유 임피던스를 맞추어 주어야하나, 통신 선로가 벽이나 바닥, 천장 등에 매립되는 경우 통신 선로 배치도에 따라 작업하는 경우가 드물기 때문에 가장 먼 거리에 있는 노드가 어디인지 정확하게 알지 못하며, 따라서 종단 저항이 제대로 설치된 현장은 매우 드물다. 그리고 RS485 소자 제조사에서는 통신 선로로 트위스티드 페어(Twisted Pair: TWP)를 이용하기를 권장하고 있으나, 단가, 작업의 용이성, 외부 인덕터 등의 강력한 서지 잡음, 혹은 건물의 화재 방지 규정 등의 이유로 다른 유선 채널이 사용되기도 한다. 이러한 작업 행태로 야기되는 임피던스 부정합 문제는 심각한 반사파 왜곡현상 및 전압 강하를 일으키고 통신 신뢰도를 크게 하락시키는 주요 원인이 된다.

물론 산업 장비 제조사들도 이러한 문제를 충분히 인지하고 있다. 문제를 해결하기 위하여 통신모듈에는 전송속도 등의 성능을 포기하고 극단적으로 Rise/Fall Time이 긴 소자를 사용하여 문제를 회피하려 하거나, 통신망 배선의 유연성을 포기하고 일정 거리마다 리피터를 설치하는 등의 노력을 하고 있다.

RS485 자체의 매우 우수한 성능으로 인해 오랜 기간 동안 이러한 대처는 좋은 방안으로 여겨졌으나, 작금의 산업 장비 발달은 사용자들에게 통신 속도의 한계를 느끼게 만들었다. 특히 산업용 제어 통신망의 경우 한 노드에서 발생한 제어신호가 다른 노드들에게 길면 수초에서 짧으면 밀리초 이내의 지연시간으로 전달되는 것을 요구하며, 이는 노드의 수가 많아질 경우 기존의 RS485 표준 프로토콜인 Modbus나 Profibus 등의 Master-Slave 방식으로 해결하기에는 매우 어려운 문제이다.

실제 산업현장에서 Multi-Master 방식이 필요한 특수한 경우에는 앞서 기술한 바와 같이 CAN 또는 Ethernet을 사용하거나 혹은 RS485-Ethernet 변환기를 사용한다. 하지만 CAN 통신은 드라이버 이외에 추가적으로 컨트롤러 사용이 요구되어 단가의 상승이 있고, 패킷 길이가 짧게 제한되어 효율성이 크게 떨어진다. Ethernet 역시 각 통신 노드 및 선로의 분

기마다 허브가 필요하기 때문에 비용이 증가하며, 각 허브들이 신호선 이외에 독립적인 전원공급을 요구하기 때문에 통신 선로가 매립되는 경우 등에는 사용이 제한된다. RS485-Ethernet 변환기 역시 비용이 비싼 것이 단점이며, 다수의 RS485 노드를 연결하기에는 구조적인 어려움이 있다.

그러므로 기존의 RS485를 Multi-Master 프로토콜로 동작시키는 것은 좋은 해결 방안이 된다. 특히 오랜 기간 동안 Ethernet에서 사용되어 통신 신뢰성이 검증된 CSMA/CD 기법은 RS485의 Multi-Master 프로토콜을 구현하는 가장 적합한 기법이 될 수 있다.

3. 시스템 모형

3.1 전송선로 해석

전기적으로 볼 때, RS485에서 통신선의 길고 짧음은 신호가 전선을 따라 수신단에 도달하는 전파시간과 신호의 왜곡에 따라 정해진다. 이러한 차이는 통신선의 물리적인 길이, 신호의 주파수 등의 여러 요인에 의하여 달라진다.

통신선이 전기적으로 짧으면, 통신선은 통신의 품질에 영향을 끼치지 않는다. 대부분의 경우 이러한 연결은 임피던스 0의 전도율로 생각하며, 집중회로(Lumped System)로 본다. 하지만 통신선이 전기적으로 길면 통신 품질을 결정하는 아주 중요한 요소가 된다. 이 경우 연결은 분포회로(Distributed System)로 생각 하여야 하며 이러한 통신선을 다른 이름으로 전송 선로(Transmission Line)라고 부른다. RS485에서는 종단 저항의 삽입을 통해, 전송선로에서 임피던스차이에 의해 반사되는 전압을 줄여주어 깨끗한 신호를 받을 수 있다.

RS485에서는 특별한 통신선을 지정하지 않았지만, 많은 제조사에서는 트위스티드 페어의 사용을 권장한다. 그리고 실제로 저렴한 가격에 비해 매우 훌륭하게 동작된다. 트위스티드 페어는 두 개의 절연 도체가 나선형으로 서로 꼬인 이중나선 구조로, 한 전선에 자기적으로 발생한 잡음이 꼬임 형태로 인해 다른 전선에 같은 크기의 반대 방향으로 작용하여 잡음을 상당부분 줄여준다[10].

하지만 앞서 말한 바와 같이 이러한 규칙은 항상

지켜지는 것이 아니며, 몇몇 제어 통신망에서는 종단 저항과 트위스티드 페어의 사용이 무시되기도 하며, 심지어는 Star 및 Tree 형태의 통신망을 만들기도 한다. 그러한 이유로 먼저 전송선로를 해석할 필요가 있다.

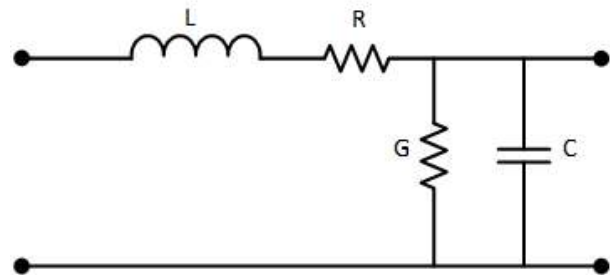


Fig. 1 RLGC Model

트위스티드 페어의 전송선로 모델은 전신방정식(Telegrapher's Equation)으로 <Fig 1>과 같이 단위 길이당 RLGC 값으로 모델링 된다[11].

- R(Resistance): 이상적인 도체를 제외한 모든 도체는 저항성분을 가지므로 모든 전송선로는 직렬성분의 저항을 갖는다.
- L(Inductance): 도체에 전류가 흐르면 자계가 변하게 되어 반드시 인덕턴스가 생기므로 모든 전송선로는 직렬성분의 인덕턴스를 갖는다.
- C(Capacitance): 일반적으로 신호경로와 귀환경로는 유전체에 의해 분리되는데, 두 경로를 이루는 도체사이의 전압차이는 커패시턴스를 가지게 되어 모든 전송선로는 신호경로와 귀환경로 사이에 커패시턴스를 가진다.
- G(Conductance): 이상적인 유전체를 제외한 모든 유전체는 어느 정도의 전도성을 가지고 있으므로, 모든 전송선로는 신호경로와 귀환 경로 사이에 컨덕턴스를 갖는다.

가장 대표적인 전선 규격인 AWG(American Wire Gauge)에 따른 트위스티드 페어의 RLGC값은 이전부터 계산되어 사용되어지고 있으나[12,13], 대부분의 다른 규격은 그렇지 못하다.

예를 들어 본 논문에서 참고한 산업용 제어 통신망의 통신선로는 인덕터 동작시의 강한 잡음, 전력선 통신과의 호환 및 작업의 편의성을 위해 VCTF(vinyl capture code, flexible) 케이블이 사용되고 있

Table 1 RLGC Parameters of VCTF Cable

Freq(Hz)	VCTF 0.75mm ²				VCTF 1.0mm ²			
	R(mΩ)	L(nH)	G(nΩ ⁻¹)	C(pF)	R(mΩ)	L(nH)	G(nΩ ⁻¹)	C(pF)
1200	67.3	529.7	1.2	100	0.7299	502.0	1.4	100
2400	68.4	525.9	2.9	100	1.956	497.9	3.2	100
9600	72.8	514.8	17.6	100	7.362	485.5	17.8	100
19200	77.3	506.6	42.5	100	12.91	476.3	42.8	100
38400	84.6	495.8	102.7	100	21.94	464.4	103.0	100
59000	90.4	488.6	166.1	100	29.01	456.5	166.3	100
115000	107.3	471.3	414.9	100	48.62	437.4	415.1	100
250000	139.6	445.8	1100	100	82.61	409.5	1100	100

다. 이는 본래 전력선으로 분류되어 있지만 상당부분 트위스티드 페어의 특징을 따른다. 트위스티드 페어의 파라미터는 유전체인 구리의 굵기(mm²)에 따라 크게 영향을 받는다. 그것에 근거하여 굵기에 따른 AWG 규격의 RLGC 파라미터를 VCTF로 추정하여 그 값을 구하였다. 추정 방법으로는 선형최소자승법(Linear least square method)을 사용하였다.

n 개 주파수에 따른 비독립적인 RLGC 파라미터를 x_i , AWG의 굵기에 따른 독립적인 RLGC 파라미터를 y_i 라 할 때, 모델 함수 S 는 다음과 같다.

$$S = \sum_{i=1}^N [y(x_i) - y_i]^2$$

$$y(x) = f(x, \mathbf{a}), \mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_M)$$

$$f(x, \mathbf{a}) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_Mx^{M-1}$$

여기서, 추정 함수의 차수가 M 일 때 S 의 최소 값을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = \sum_{i=1}^N 2[f(x_i, \mathbf{a}) - y_i] \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_j} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, M)$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^N f(x_i, \mathbf{a}) \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_j} = \sum_{i=1}^N y_i \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_j}$$

그리고 위 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_1} = 1, \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_2} = x_i, \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_3} = x_i^2, \dots, \frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_M} = x_i^{M-1}$$

$$\frac{\partial f(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_i} = x_i^{i-1}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N 1 & \sum_{i=1}^N x_i & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^{M-1} \\ \sum_{i=1}^N x_i & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i^{M-1} & \sum_{i=1}^N x_i^M & \dots & \sum_{i=1}^N x_i^{2(M-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N x_i^{M-1} y_i \end{bmatrix}$$

위 식에서 역행렬 연산을 통해 방정식의 계수인 벡터 \mathbf{a} 를 구할 수 있다.

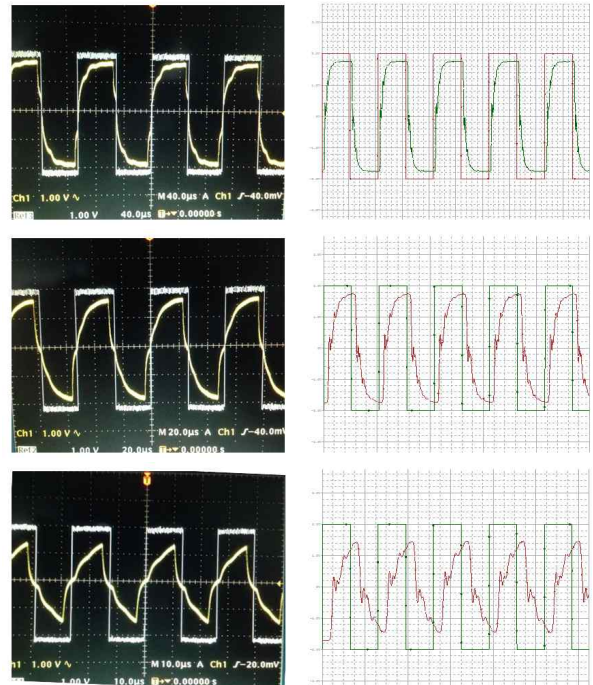


Fig. 2 (a)Measurement and (b)simulation result of VCTF cable model at 9.6, 19.2, 38.4 kHz

위 방법으로 VCTF의 굵기에 따른 RLGC 값의 추정치를 구하고 PSPICE를 통해 정확한 수치를 보정하였다. 또한 1200m 길이의 Star 구조로 결선된 실제 통신 선로를 거친 신호의 파형을 PSPICE 모의실험 결과와 비교하여 Fig 2와 같이 두 파형이 동일한 것을 확인하였다.

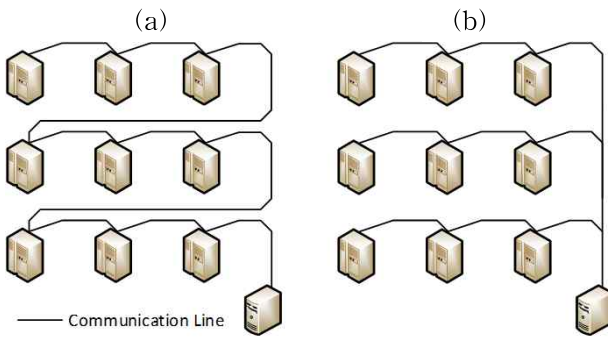


Fig. 3 (a)Daisy chain and (b)Star Topology

3.2 CSMA/CD 구현

본 논문에서 선택한 CSMA 계열의 Multi-Master 프로토콜은, Modbus와는 다르게 임의 접근(Random Access, Contention Based Access) 방식에 속한다. 임의 접근 방식에서는 어떤 노드도 다른 노드보다 우선순위가 높지 않으며, 다른 노드를 제어 할 수 없다. 전송할 데이터가 있는 노드는 매 순간마다 전송을 할지 안 할지를 결정하기 위하여 프로토콜에서 정해진 절차를 따른다. 이 결정은 채널의 상태에 좌우된다. 다시 말하면, 각 노드는 채널의 상태를 확인하는 것을 포함한 미리 약속한 절차를 따라 채널 상태에 따라 자신이 전송하고자 할 때 전송 할 수 있다.

CSMA 방식은 노드가 채널을 사용하려고 시도하기 이전에 채널을 감지(Carrier Sense)하여 신호의 충돌 확률을 줄일 수 있다. CSMA는 각 노드가 전송하기 이전에 먼저 채널의 상태를 확인한다. 즉 CSMA는 “전송이전에 감지” 혹은 “말하기 이전에 듣기”원칙에 기반을 두고 있다.(Listen before Talk) 하지만, CSMA는 충돌의 가능성을 줄일 수는 있으나, 완전히 없앨 수는 없다. 노드가 채널을 감지하여 채널이 비어있음을 확인하여도 다른 노드가 전송한 프레임의 첫 번째 비트가 전파 지연으로 인하여 아직

도달 중일 수 있기 때문이다.

이를 보완한 것이 CSMA/CD 방식이며, 이는 CSMA 방식에 충돌을 처리하는 절차를 더한 것이다. 유선 채널의 경우 충돌을 확인 할 수 있기 때문에 사용가능한 방식이다. 프레임을 전송함과 동시에 두 개의 다른 포트를 이용하여 충돌이 발생하는지 감시

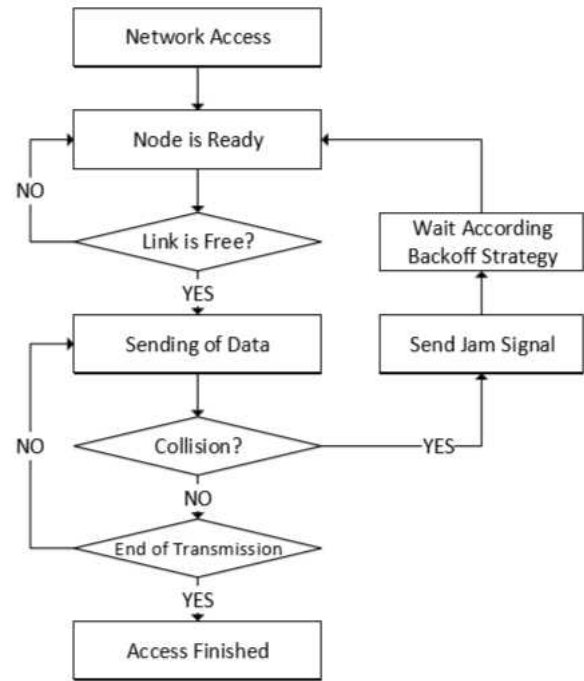


Fig. 4 CSMA/CD Block Diagram

한다.(Collision Detection) 이 때 프레임이 목적지에 도착할 시간 이전에 다른 프레임의 비트가 발견되면 충돌이 일어난 것으로 판단한다. 동작 순서는 <Fig 4>와 같다.

앞 장에서 기술한 바와 같이 RS485는 물리 계층만을 정의하고 데이터 링크 계층은 정의되어 있지 않다. 게다가 Master-slave 방식에서의 동작만을 강조하고 제작하였기 때문에 CAN통신과 같이 Multi-Master를 위한 특별한 동작이나 기능이 포함되어 있지 않다. 따라서 기본적으로 CSMA/CD의 동작을 위해서 RS485에서 채널이 비어있는지 확인하는 동작과(Carrier Sense), 송신한 신호가 충돌이 발생하였는지 확인하는 동작의(Collision Detection) 구현이 필요하다.

RS485는 2선식 연결을 하는데, 각 선로가 -5V와

+5V로 출력 신호를 반전시켜 송신한다. 수신단에서는 각 선로의 신호들을 차동 증폭하여 원래 송신 신호를 복구하게 된다. 그리고 송신신호가 없을 경우에는 채널이 0V로 유지되어 비어있음을 확인 할 수 있다.

또한 대부분의 RS485 소자들은 전이중 통신방식(Full-Duplex) 지원하기 위해 Tx와 Rx, 송신 출력과 수신입력을 독립적으로 동작시킬 수 있다. 즉 각 통신 노드들은 신호를 송신하는 동시에 수신도 가능하다. 예를 들면 Multi-Master 동작에서 두 개 이상의 노드에서 동시에 신호를 보내어 충돌하여 오류가 발생하게 되면, 각 송신 노드에서는 보낸 동시에 수신한 신호를 패리티 등의 방식으로 오류 여부를 검출하여 충돌 여부를 판단 할 수 있다. 혹은 수신한 신호를 보낸 신호와 비트단위로 비교하여 같지 않으면 충돌이 발생하였다고 판단 가능하다.

채널이 비어있음을 확인하고 데이터를 송신하였지만 다른 송신 노드와 충돌이 발생하고 이를 감지하였을 때, 각 송신 노드들은 미리 정해진 Back-off 알고리즘에 따라 무작위 시간을 기다리게 된다. 이때 네트워크에서 충돌을 감지하기 위한 최소 시간은 케이블의 한쪽 끝에서 또 다른 한쪽 끝으로 신호를 전송하는데 소요되는 시간이다(Slot-time). 똑같이 CSMA/CD를 사용하는 Ethernet의 경우 Slot-time을 최소 프레임 길이를 기준으로 정하지만, RS485에서는 선로의 길이가 길고 신호의 Rise/Fall Time이 길기 때문에 이를 Slot-time에 충분히 반영해 주어야 한다.

4. 실험 결과

4.1 모의실험 환경

본 논문에서는 실제 산업 환경에 부합하는 모의실험 환경을 위해 실제 산업용 제어 통신망에서 사용되는 통신 네트워크를 기반으로 하였다. 이 제어통신망은 전체 통신 선로 길이를 1km, 연결가능 노드를 256개로 제한한다. 25층의 건물을 가정하여 각 층당 노드수를 9개에서 10개로 정하여 256개의 노드로 네트워크를 구성하였다. 통신선로는 주로 Fig 3과 같이 직렬 연결구조(Daisy Chain)로 설치되지만, 본

논문에서는 열악한 환경을 가정하여 Star 결선 구조에 종단저항이 없는 것으로 모의실험 하였다. 이에 따른 임피던스 부정합으로 인한 손실은 PSPICE로 모의실험 하여 통신 네트워크 모델에 반영 하였다. 또한 통신 선로는 앞서 모델링한 VCTF를 사용하였고, RS485 소자는 TI의 SN65HVD1794를[14] 선정하여 파라미터를 모의실험에 반영 하였다Table 2.

위 환경에서 모의실험 하여 전송속도(9600, 19200bps) 및 지수 분포로 모델링된 패킷주기 T(s)에 따른 평균 전송 지연시간과 처리량을 측정하였다. 패킷 주기는 하나의 노드에서 평균적으로 몇 초의 시간마다 1개의 패킷이 전송되는지를 나타낸다. 예를 들어, 패킷주기 60초를 가진 네트워크는 독립적인 각 노드들이 평균적으로 60초마다 1개의 패킷을 전송한다는 의미이다. 또한 상기의 모의실험 환경에서 TDMA(Time Division Multiple Access)로 완벽하게

Table 2 Simulation Parameter

	Parameter
Transmission Rate(bps)	9600, 19200
Traffic Modeling	Exponential
Network Topology	Star
Packet Rate(s)	60, 120, 180, 240
Packet Length(byte)	50 to 250
Number of Node	256
CSMA/CD	1 Persistent
Rise/Fall Time	2600ns
Input Resistance	96KΩ

자원이 분배되었을 경우의 이상적인 패킷주기 $T_{Ideal}(s)$ 는 다음 식에 의하여 각각 32초, 16초로 계산된다. 이 경우에는 전송 지연시간이 없으며, 처리량이 최대가 된다.

$$T_{Ideal} = \frac{(\text{평균 패킷길이}) \times (\text{네트워크의 노드수})}{(\text{전송속도})}$$

전송방식으로는 Multi-Master일 경우 본 논문에서 제안하는 RS485기반 CSMA/CD를 적용하였고, 이를 가장 널리 사용되는 RS485 기반 Master-Slave 방식 표준인 Modbus와 성능을 비교하여 크게 개선됨을 보였다.

4.2 성능 평가

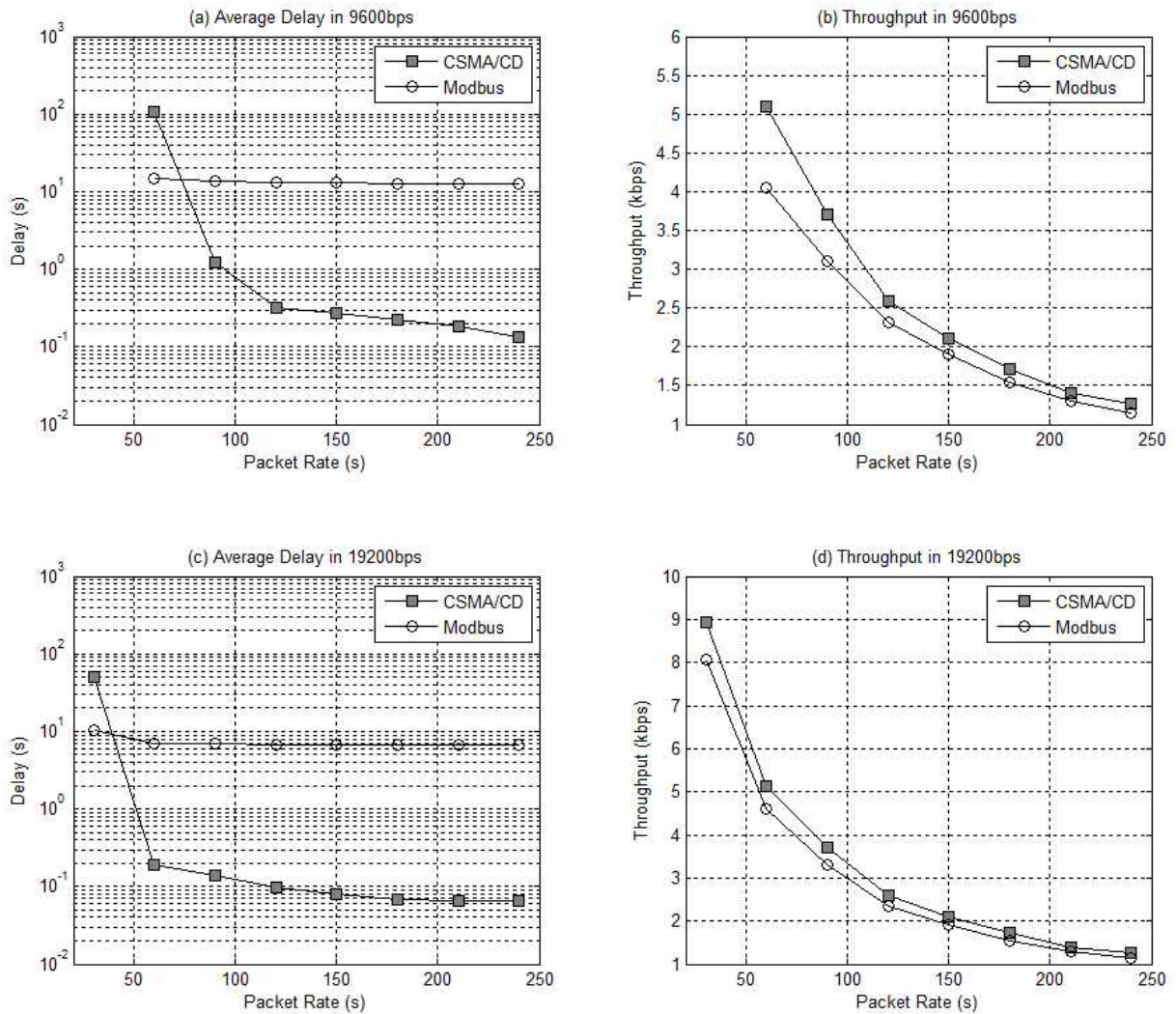


Fig. 5 Comparison of RS485 based CSMA/CD with Modbus in 9600, 19200bps

모의실험 결과는 Fig 4와 같다. 전송속도가 9600bps, 19200bps 일 때 각각의 평균 전송 지연시간과 처리량을 보여준다. 처리량은 패킷 주기에 따라 거의 차이가 없거나 조금 더 성능이 개선됨을 보인다. 평균 전송지연시간은 패킷 주기에 따라 차이를 보이는데, 예를 들어 <Fig 4.(a)>에서 패킷 주기가 150일 경우 CSMA/CD의 평균전송 지연시간은 0.27초, Modbus의 평균 전송 지연시간은 12.9초로 약 60배의 성능개선을 보인다. 제한된 방식은 패킷주기가 길 경우에 더욱 큰 성능 개선을 보인다. 예를 들어 Fig 4.(c)에서 패킷주기가 250일 경우 CSMA/CD의 평균전송 지연시간은 0.066초, Modbus의 평균 전송

지연시간은 6.638초로 100배 이상의 뛰어난 성능개선을 확인하였다.

Master-Slave 방식인 Modbus에서는 각 노드들이 통신을 할지 안할지를 중앙노드에서 일일이 물어보는 동작이 포함되므로 상대적으로 Multi-Master 방식인 CSMA/CD 보다 평균 지연시간이 길고 처리량이 낮다. 이와 비교하여 CSMA/CD방식은 채널이 비어있는지 확인하는 동작을 통해 각 노드들이 스스로 자신이 신호를 보낼지를 결정할 수 있기 때문에 효율이 좋으나, 패킷 주기가 짧아지게 되면 서로 신호를 보내려고 하는 충돌이 빈번히 발생하여 효율이 크게 나빠진다. 일반적으로 사용되는 9600bps의 제어

용 통신망에서는 패킷 주기가 적어도 60초 이상이 되어야 Multi-Master 방식이 Master-Slave 방식에 비하여 높은 성능을 보이며 네트워크에 적용하는데 의미가 있다. 왜냐하면 처리량은 높을지라도 신속하게 처리되어야 할 제어신호가 늦게 들어온다면 제어 환경에 치명적이기 때문이다. 또한 이보다 2배의 속도를 가진 19200bps의 제어용 통신망에서는 적어도 40초 이상의 패킷 주기가 되어야 한다.

모의실험 결과를 통하여, 기존의 다수 제어용 저속통신망에서 RS485기반의 CSMA/CD를 사용하면 좀 더 높은 처리량을 유지하면서 전송지연시간을 패킷 주기에 따라 최대 100배 이상으로 크게 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

RS485 통신 규격이 발표 된지 15년이 넘었지만, 가격 대비 우수한 성능으로 인하여 지금 까지도 여전히 사용되고 있다. 하지만 급속하게 발전하는 산업 환경의 네트워크 수요를 충족하기에는 어려운 점이 많고, 산업 현장에서도 이러한 문제점들이 서서히 드러나고 있다. 본 논문에서는 RS485에 CSMA/CD 방식을 적용하여 RS485 기반의 산업용 통신망을 개량하고자 하였고, 제안한 방식이 적합함을 모의실험을 통해 보였다.

패킷 주기에 따라 성능에 대한 차이는 있지만, 대부분의 경우에서 제안된 방식이 평균 전송 지연시간의 관점에서 최대 100배 이상의 성능 개선을 확인하였고 처리량 관점에서도 거의 비슷하거나 조금 더 나은 성능 개선점이 있는것을 확인 하였다.

또한 어플리케이션에 따라 앞으로의 성능 개선 가능성도 매우 크다. 예를들어 기존의 Master-Slave 방식에서 Slave 간에 통신을 하기 위해서는 Slave가 Master 노드에게 일일이 통신을 할지를 물어보는 과정으로 처리량 및 평균 지연시간이 늘어나지만, 본 논문에서 제안한 Multi-Master 방식은 처리량과 평균 지연시간 관점에서 아무런 손실 없이 통신을 할 수 있다.

이는 본 논문의 모의실험 모델로 선택한 산업용 제어 통신망은 물론이고, 각종 산업용 제어통신망 및 홈 네트워크 시스템에 유용한 참고 자료 및 연구가

될 것이라 판단한다.

본 논문의 연구 내용을 바탕으로 주기적인 제어신호는 종래의 Master-Slave 방식 혹은 TDMA 방식으로 통신하고 이외의 비주기적인 제어신호를 CSMA 방식으로 통신하는 방식을 차후 연구 주제로 하고자 한다.

References

- [1] Telecommunications Industry Association(TIA), Application Guidelines for TIA/EIA-485-A, Mar 1998.
- [2] Texas Instruments, "The RS485 Design Guide," Feb 2008.
- [3] Soltero Manny, Zhang Jing, Cockril Chris, Zhang Kevin, Kinnaird Clark, Kugelstadt Thomas, "RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations, Application Report," May 2010.
- [4] Feng-Li Lian, Moyne, James R., Tilbury, D.M., "Performance evaluation of control networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet," IEEE Control Systems Magazine, Vol, 21. Issue, 1. pp. 66-83, Aug 2002.
- [5] Texas Instruments, "Comparing Bus Solutions," Oct 2009.
- [6] B. J. Kim, H. Y. Moon, E. G. Jeong, H. J. Jeon, "A Development of Data Acquisition and Recorder System for Factory Wasted Water Supervisor and Analysis," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 83-88, Mar 2000.
- [7] E. J. Kim, S. H. Go, B. S. Lee, "A Study on Communication Protocol for Environmental Show Interface between DCS and Devices Equip," Journal of the Korean Knowledge Information Technology, Vol. 9, No. 11, pp. 133-141, Nov 2011.
- [8] Spehro Pefhany, "Modbus Protocol," Modicon, Jan 2000.

[9] Peter Chipkin, "Modbus for Field Technicians," Chipkin Automation Systems, 2010.

[10] Jan Axelson, "Serial Port Complete. COM Ports,. USB Virtual COM Ports and Ports for Embedded Systems Second Edition," Lakeview Research, Dec 2007.

[11] C. R. Paul, "Analysis of Multiconductor Transmission Lines," Wiley, 1994

[12] "Information for 5000 Hz and below taken from Transmission Data-Exchange Area Cables," AT&T 1962.

[13] "Provision of Metallic Pair to Other Common Carriers for Digital Data Transmission," AT&T 1974.

[14] Texas Instruments, "70-V Fault-Protected RS-485 Transceiver With Cable Invert," Aug 2008.



박 동 찬 (Dong Chan Park)

- 부산대학교 전기공학과 학사
- 부산대학교 전자공학과 석사
- 부산대학교 자전기컴퓨터공학과 박사과정

• 관심분야: 이동통신, 신호처리, 메쉬 네트워크



김 석 찬 (Suk Chan Kim)

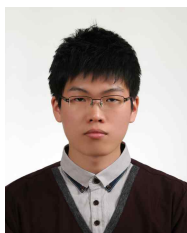
- 부산대학교 전자 공학과 학사
- 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

• 한국전자통신연구소(ETRI) 연구원
 • Princeton 대학교 박사후 과정
 • Lehigh 대학교 박사후 과정
 • 부산대학교 전자공학과 교수
 • 관심분야 : 이동통신, 통신신호처리, 수중통신



김 민 기 (Min Ki Kim)

- 부산대학교 전기전자공학부 학사
- 부산대학교 자전기컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : OFDM, VLC, Industrial Network



최 용 우 (Yong Woo Choi)

- 부산대학교 전기전자공학부 학사
- 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 수중통신, 적응신호처리