

IEC 61850 프로토콜의 실시간성 향상을 위한 선점형 이더넷 컨트롤러

논문
59-10-34

Preemptive Ethernet Controller to Improve Real-Time Characteristics of IEC 61850 Protocol

이 범 용* · 박 태 림** · 박 재 현†
(Bum Yong Lee · Tae Rim Park · Jaehyun Park)

Abstract - The IEC 61850 protocol proposed for the interoperability between IEDs(intelligent electronic devices) adopts the prioritized switched ethernet as its communication channel because substation bus is utilized to exchange both real-time and non real-time messages.

The prioritized switched ethernet uses IEEE 802.1Q/p QoS(Quality of Service) in addition to IEEE 802.3 ethernet to enhance the real-time characteristics. However, IEEE 802.1Q/p QoS has priority-blocking problem that occurs when higher-priority frame transmission request during lower-priority frame transmission. To resolve this problem, this paper proposes P(Preemptive)-Ethernet. P-Ethernet uses the modified IEEE 802.1Q/p frame format and new priority preemption mechanism. This paper also implements P-Ethernet controller using FPGA (Virtex-4) and MicroBlaze processor. From the implementation results, P-Ethernet controller shows a improved latency and jitter of transmission period compare to the normal ethernet controller.

Key Words : Real-time ethernet, IEC 61850, QoS

1. 서 론

스마트 그리드는 정보통신 기술을 활용하여 실시간으로 전력생산 및 소비정보를 양방향으로 전달함으로써 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망이라고 정의할 수 있다[1]. 스마트 그리드의 필요성이 대두됨에 따라 변전 자동화에서는 네트워크 기능이 집목된 마이크로프로세서 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)들의 역할이 중요시 되었고, 각 IED 간의 원격 제어 및 감시 역할이 필요하게 되었으며, 이를 위하여 변전 자동화 국제 표준 프로토콜인 IEC 61850이 제정되었다[2]. IEC 61850 프로토콜 스택은 그림 1에 보이는 것과 같이 이더넷 기반의 프로토콜로서 ACSI (Abstract Communication Service Interface), SV(Sampled Value), GSE(Generic Substation Event) 등으로 구성되어 있다[3]. ACSI는 Client-Server 모델을 기반으로 한 어플리케이션과 서버 사이의 데이터 교환에 이용되며, 비실시간 데이터 전송을 담당한다. SV는 Publisher-subscriber 모델을 기반으로 한 실시간 데이터 전송방식으로 프로세스 버스에 디지털 및 아날로그 I/O 데이터를 실시간으로 교환하는데 이용된다. GSE는 Publisher-subscriber 모델을 기반으로 한 실시간 데이터 전송방식으로 GOOSE(Generic Object-Oriented Substation Event)와 GSSE(Generic Substation

Event)로 나누어져 있다. GOOSE는 커맨드나 알람 등의 데이터를 메시지 형태로 전송하고 GSSE는 상태 값의 리스트 전송을 담당한다[4,5].

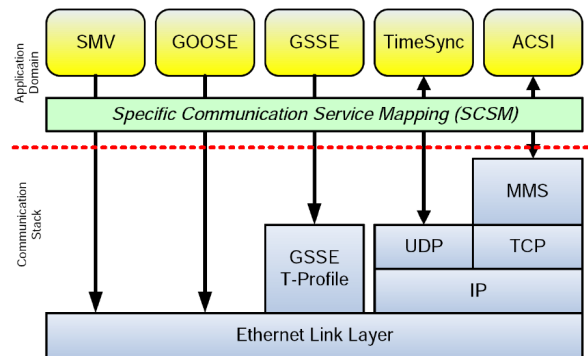


그림 1 IEC 61850의 네트워크 프로토콜 스택[5]

Fig. 1 IEC 61850 Network protocol stack

IEC 61850은 고속의 WAN을 통한 전력데이터의 수집뿐만 아니라, 릴레이, 스위치 기어와 같은 변전 시스템의 제어를 위한 장치의 전력 데이터 교환 및 제어 명령에도 이용이 가능해야 한다[6,7]. 이러한 변전 시스템 제어 장치는 실시간성이 보장되어야 하는 리얼타임 시스템이다. IEC 61850은 실시간성을 보장하기 위하여 IEEE 802.1Q/p QoS(Quality of Service)의 우선순위가 추가된 이더넷 프레임을 사용한

* 비 회 원 : (주)텔레칩스 연구원

** 비 회 원 : (주)삼성전자 종합기술원 연구원

† 교신저자, 정회원 : 인하대학교 정보통신공학부 교수

E-mail : jhyun@inha.ac.kr

접수일자 : 2009년 12월 26일

최종완료 : 2010년 7월 29일

다. 이를 통해 실시간 데이터와 비실시간 데이터를 동시에 전송할 경우 우선순위 메커니즘을 이용하여 실시간성을 보장한다.

본 논문은 IEC 61850에서 사용되는 MAC 계층인 우선순위 스위치 이더넷의 성능을 평가하고 우선순위 스위치 이더넷에서 실시간성을 제약하는 문제인 우선순위 블로킹 문제를 개선하는 새로운 이더넷 컨트롤러 구조를 제안하고 구현을 통하여 성능을 입증한다.

2. 선점형 이더넷(Preemptive-Ethernet; P-Ethernet)

2.1 선점형 이더넷

우선순위 스위치 이더넷은 실시간 특성을 만족시키기 위하여 그림 2와 같이 IEEE 802.3 이더넷에 802.1Q/p QoS가 추가된 프레임 포맷을 사용한다. TPID는 802.1Q/p의 타입 번호이고, TDI는 Priority, CFI, VLAN ID를 갖게 된다. Priority는 우선순위를 뜻하며, 0-7까지의 우선순위를 갖는다. 그리고 CFI는 이더넷일 경우 1을 표시하며, 토크링의 경우는 0을 표시한다. 그리고 우선순위 스위치 내부에는 가상 LAN ID를 설정하여, 동일한 스위치 내부에서도 독립적인 LAN을 구성할 수 있다. VLAN ID는 스위치 허브 내에 존재하는 가상 LAN의 ID를 뜻한다[8].

IEEE 802.1Q/p의 우선순위 메커니즘하에서는 전송요청이 동시에 발생할 경우 높은 우선순위의 프레임이 먼저 전송하게 되어 실시간성을 보장한다. 하지만 낮은 우선순위의 프레임을 전송할 때, 더 높은 우선순위의 프레임이 전송 요청이 된다면 Head-of-line 문제에 의한 우선순위 블로킹이 발생하여 전송시간이 지연되게 된다. 이와 같은 지연이 발생하게 된다면, 실시간 데이터의 전송에서 제한시간을 넘기게 될 확률이 높아져 실시간성이 떨어지며, 낮은 우선순위의 프레임 길이에 따른 불규칙적인 지연으로 인한 실시간 데이터의 Jitter 발생률이 높아지는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 우선순위가 높은 실시간 패킷이 현재 전송중인 우선순위가 낮은 패킷을 선점하여 전송될 수 있는 우선순위에 따른 선점형 이더넷(Preemptive Ethernet)을 제안한다.

선점형 이더넷은 스위치 내부에서 낮은 우선순위의 패킷 전송 중 높은 우선순위 패킷이 발생하면 전송중인 패킷을 임시 저장소에 저장한 후 높은 우선순위 패킷을 전송하는 방식으로 이를 위하여 기존의 프레임에 Sequence Number와 Remain Length 라는 새로운 요소가 필요하다. 여기서 Sequence Number는 해당 프레임이 높은 우선순위의 프레임에 의하여 프레임 전송권한을 선점당해 전송을 멈추는 횟수를 의미한다. 그리고 Remain Length는 전송할 프레임의 데이터 부분의 총 크기에서 현재까지 남은 데이터의 크기를 의미한다. 높은 우선순위의 프레임에 의하여 선점당하는 프레임은 전송 중이던 바이트 단위의 데이터까지 전송 후, 현재의 Sequence Number와 Remain Length를 전송한다. 그리고, 선점당하는 우선순위 프레임의 Sequence Number를 1씩 증가시킨다.

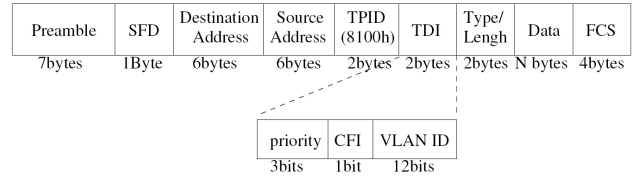


그림 2 IEEE 802.1Q/p 가 추가된 이더넷 프레임 포맷
Fig. 2 IEEE 802.1 Q/p Ethernet frame format

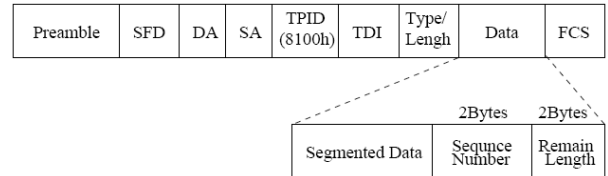


그림 3 P-Ethernet 프레임 포맷
Fig. 3 P-Ethernet frame format

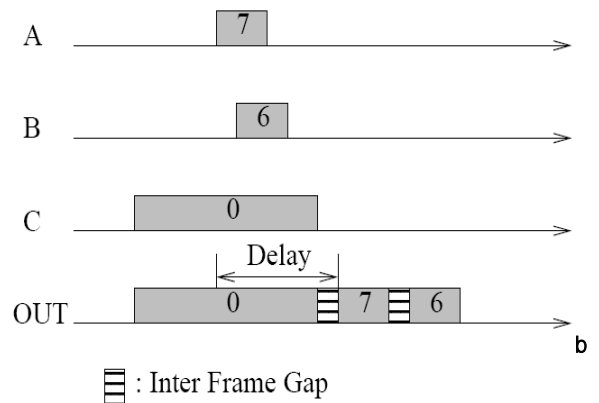


그림 4 802.1Q/p 우선순위 메커니즘의 스케줄링
Fig. 4 802.1 Q/p Priority-based scheduling

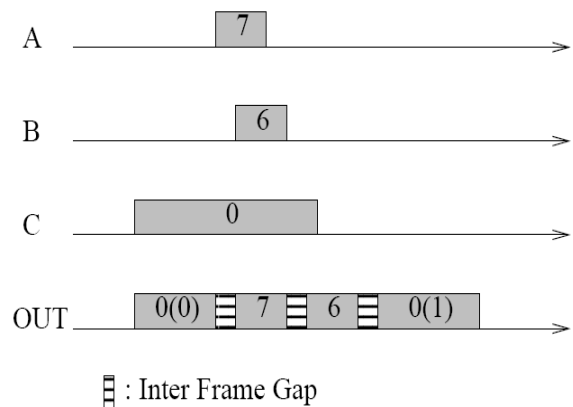


그림 5 P-Ethernet 우선순위 메커니즘의 스케줄링
Fig. 5 Preemptive scheduling of P-Ethernet

전송중인 프레임의 전송된 길이가 이더넷 프레임의 최소 길이보다 작으면, 전송중인 프레임을 드롭 시키고, Remain Length 나 Sequence Number 변화 및 전송하지 않는다. 그리고 남은 프레임이 길이가 이더넷 프레임의 최소길이 보다 작으면 나머지 길이는 0으로 채우게 된다.

그림 4와 그림 5는 A, B, C 프레임을 Out 포트에 각각 우선순위 7, 6, 0인 프레임을 전송할 때 발생하는 예이다. 우선순위 0인 프레임C를 전송 중에 우선순위 7인 프레임 A, 우선순위 6인 프레임B를 전송한다면, 802.1Q/p는 그림 4와 같이 스케줄링을 한다. 그림 4를 보면, C의 프레임을 전송 중에 더 높은 우선순위의 프레임 A가 발생하여도 전송을 중단할 수 없기 때문에 Delay 만큼 지연 후 우선순위 7,6의 프레임이 전송된다. 하지만, P-Ethernet은 우선순위에 의해 프레임이 선점되기 때문에 A 프레임인 우선순위 0프레임을 전송이 중단되고, 우선순위 7,6인 프레임이 순차적으로 전송된 후, Sequence Number가 증가된 프레임 A를 이어서 전송한다. 그림 5의 괄호는 Sequence Number를 의미한다.

2.2 802.1Q/p의 성능 평가

그림 6은 P_{NRT} 시점에 비실시간 프레임의 전송이 요청되어 프레임을 전송 중일 때, 실시간 프레임이 P_{RT} 시점에 발생할 경우 802.1Q/p에서의 타이밍을 나타낸다. 여기서 $T_{latency}$ 를 구하면,

$$T_{latency} = T_{blocking} + T_{IFG} + 2(T_{tx} + T_{rx} + T_p) + T_{RT} + T_{ACK} \quad (1)$$

와 같이 된다. 여기서 $T_{blocking}$ 은 우선순위 블록킹에 의해 지연되는 시간이고, T_{IFG} 는 이더넷 프레임 사이의 간격, T_{tx} 는 데이터 전송 시 노드 내부에서 지연되는 시간, T_p 는 Propagation Delay, T_{rx} 는 데이터 수신시 노드 내부에서 지연되는 시간, T_{RT} 는 실시간 데이터 전송에 걸리는 시간, T_{ACK} 는 ACK 전송에 걸리는 시간을 뜻한다. ACK는 Real-Time 프레임에 대한 ACK 프레임으로서 802.Q/p와 P-Ethernet의 Latency를 측정하기 위해서 사용된 프레임이다.

여기서 $T_{blocking}$ 은 우선순위 블록킹에 의한 지연시간이므로 아래와 같은 지연시간을 갖는다. 이 식에서 T_{NRT} 는 비실시간 프레임의 전송에 걸리는 시간을 의미한다

$$\begin{aligned} &\text{if } (P_{NRT_m} < P_{RT_n} < P_{NRT_m} + T_{NRT_m}) \text{ then} \\ &\quad T_{blocking} = T_{NRT_m} - (P_{RT_n} - P_{NRT_m}) \\ &\text{else} \\ &\quad T_{blocking} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

또한 총 지연시간은 식 (3)과 같다. (3) 식을 보면 예측 불가능한 시점에 비실시간 데이터의 크기에 의하여 전송의 지연시간이 변화함을 알 수 있다.

$$\text{if } (P_{NRT_m} < P_{RT_n} < P_{NRT_m} + T_{NRT_m}) \text{ then} \quad (3)$$

$$T_{latency} = T_{NRT_m} - (P_{RT_n} - P_{NRT_m}) + T_{IFG} + 2(T_{tx} + T_{rx} + T_p) + T_{ACK}$$

$$\text{else} \\ T_{latency} = T_{IFG} + 2(T_{tx} + T_{rx} + T_p) + T_{RT_n} + T_{ACK}$$

2.3 P-Ethernet의 성능 평가

그림 7은 P_{NRT} 시점에 비실시간 프레임의 전송이 요청되어 프레임을 전송 중일 때, 실시간 프레임이 P_{RT} 시점에 발생할 경우 P-Ethernet에서의 타이밍을 나타낸다. 여기서 $T_{latency}'$ 를 구하면,

$$T_{latency}' = T_{OH} + T_{IFG} + 2(T_{tx} + T_{rx} + T_p) + T_{RT} + T_{ACK} \quad (4)$$

와 같이 된다. 여기서 T_{OH} 는 우선순위 블록킹 방지를 위해 프레임에 추가된, Sequence Number와 Remain Length에 의하여 지연되는 시간으로 항상 일정한 값이다.

3. P-Ethernet 컨트롤러의 구현

P-Ethernet 컨트롤러는 Xilinx 9.1i 와 EDK 9.1i를 이용하여 Open Ethernet IP Core를 기반으로 전송부의 수정을 통하여 P-Ethernet을 구현하였다[9,10,11]. 전송 버퍼 디스크립터의 개수를 8개로 한정하였고, 전송 버퍼 디스크립터 번호는 전송프레임의 우선순위를 의미한다. Ready 비트가 셋팅 되어있는 버퍼 디스크립터 중 우선순위가 가장 높은 버퍼 디스크립터의 번호와 Ctrl&Status, Tx Pointer를 버퍼 디스크립터 모듈 외부에 출력시킨다.

Remain Length와 Sequence Number는 P-Ethernet에서 가장 중요한 요소이다. Remain Length가 없다면 수신 측에서 전송받은 프레임이 얼마나 남아있는지 알 수 없고, Sequence Number가 없다면, 전송 받은 프레임의 오류가 발생할 가능성이 크다. 그러므로 전송중인 프레임이 더 높은 우선순위의 프레임에 의하여 전송이 중단되었을 때, 전송중인 프레임에 대한 정보를 가지고 있어야한다. 해당하는 우선순위의 프레임이 전송 중단이 되었을 때 해당 우선순위의 Sequence Number를 증가시키고, 현재까지 전송된 프레임의 길이를 해당 우선순위에 해당하는 곳에 저장한다. 그리고 TxBD_Prio 신호에 해당하는 Sequence Number와 Remain Length를 출력하여 전송모듈에서 해당 신호를 프레임에 덧붙여 전송할 수 있게 한다.

전송 버퍼 디스크립터에서 현재 대기 중인 최상위 우선순위 번호를 출력한다. 최상위 우선순위가 현재 전송중인 프레임보다 우선순위가 높다면 HigherPrioTxBD Occured 신호가 Enable 된다.

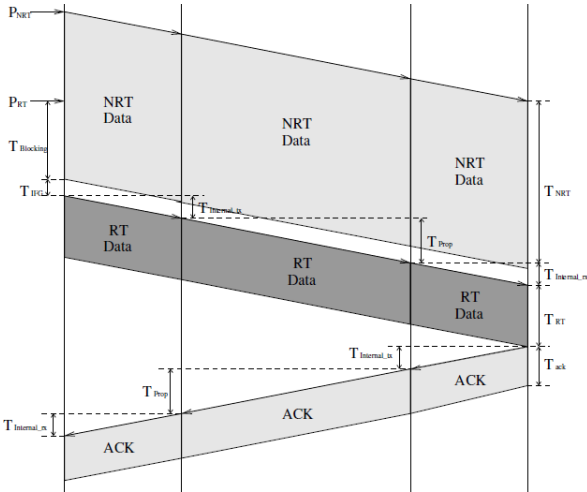


그림 6 802.1Q/p의 Timing
Fig. 6 802.1 Q/p Timing

HigherPrioTxBDOccured가 Enable 되면 TxBDReady 신호가 Disable되어 현재 전송중인 프레임의 전송은 중단된다. 그리고, HighestPrio_TxBD에 대하여 TxBDPrio, TxBDReady, TxBDPointer, TxBDStatus, LatchedTxLength를 업데이트한다. 여기서 TxBDPrio는 전송중인 프레임의 우선순위이고, TxBDReady는 프레임의 전송을 위한 버퍼 디스크립터의 준비가 완료되었음을 의미하며, TxBDStatus는 전송 프레임의 상태, LatchedTxLength는 전송할 프레임의 총 길이를 의미한다.

HigherPrioTxBDOccured가 Enable 되면 또한 TxFifoClear 신호가 Enable되어 메모리로 읽혀져 TxFifo에 저장된 데이터를 모두 드랍시킨다. 그리고 TxEndFrm을 Enable 시켜 전송모듈로 데이터 전송이 끝났음을 알린다. 그리고 TxByteCnt에서 전송모듈로 전송한 데이터의 길이를 카운트하여, 전송 프레임 정보 저장부에서 Sequence Number와 Remain Length를 관리할 수 있다.

4. 실험 및 성능 분석

본 논문에서 제안한 P-Ethernet 컨트롤러를 시험하기 위하여 MicroBlaze 프로세서와 연동하여 이를 시험하였다. P-Ethernet 컨트롤러가 탑재된 FPGA는 PC와의 통신을 통하여 시험하였다. PC에서는 프레임이 수신되면, FPGA 보드에 Ack 신호를 전송하여 FPGA 보드에 프레임이 정상수신되는 것을 확인하였다. 그림 9는 이더넷 분석도구인 Wireshark[12]를 통한 데이터 정상수신 시험 장면이다. 전송 중이던 비실시간 프레임 ㉑가 우선순위 7인 ㉒ 프레임에 의하여 네트워크 우선순위를 선점당해 Sequence Number ㉓와 Remain Length ㉔를 전송 후, ㉕ 프레임이 전송되고, Ack 프레임 ㉖가 전송되었다. 그 후, 비실시간 프레임의 나머지 부분인 ㉗ 프레임이 전송되었다. 이를 통하여 P-Ethernet의 정상동작을 확인하였다.

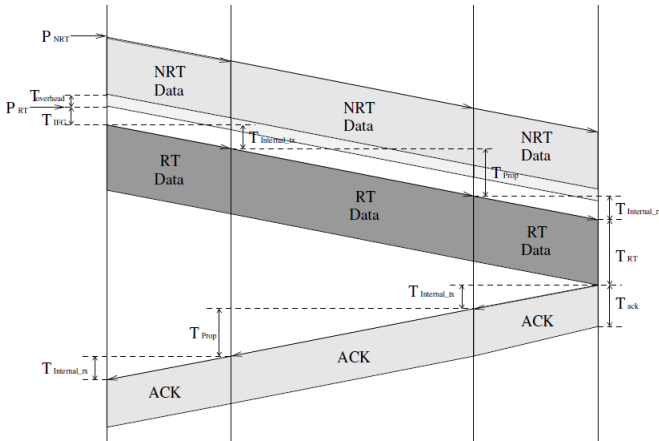


그림 7 P-Ethernet의 Timing
Fig. 7 P-Ethernet Timing

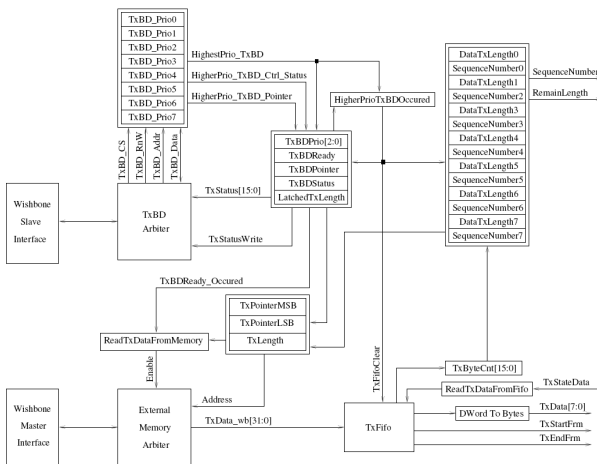


그림 8 WISHBONE 인터페이스 모듈의 전송부 구조
Fig. 8 Block diagram of Wishbone interface module

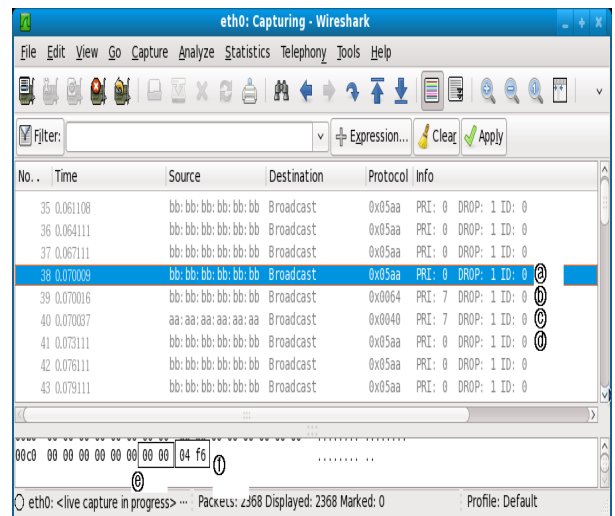


그림 9 Wireshark를 통한 P-Ethernet 동작 테스트
Fig. 9 Screen capture of Wireshark test

FPGA 보드에서는 PC로 실시간 프레임과 비실시간 프레임 주기로 전송하였다. 실시간 프레임의 전송시간과 ACK 수신 시간을 측정하여 전송 주기와 지연시간을 계산하여 성능을 평가하였다. 여기서 실시간 프레임은 100bytes의 프레임으로 10ms 주기로 전송하였고, 비실시간 프레임은 100 ~ 1500bytes의 크기의 프레임을 1 ~ 20ms의 주기로 균일분포(uniform distribution)를 가지도록 전송하였다.

표 1 실험 데이터

Table 1 Test parameter

		Real-Time	Non Real-Time
시험1 (802.1Q/p without NRT)	주기	10ms	-
	크기	100bytes	-
시험2 (802.1Q/p)	주기	10ms	1-20ms
	크기	100bytes	100-1500bytes
시험3 (P-Ethernet)	주기	10ms	1-20ms
	크기	100bytes	100-1500bytes

시험 결과 아래의 표와 같은 Latency와 주기가 측정되었다. 본 시험에서는 802.1Q/p를 이용하여 100bytes의 실시간 프레임을 10ms 주기로 전송하고, 다른 프레임의 전송을 하지 않음으로써, 기존의 802.1Q/p에서 비실시간 프레임의 영향을 받지 않았을 때의 Latency 및 ACK 수신 주기를 측정하였다.

표 2 실험 결과

Table 2 Test Result

	802.1Q/p without NRT		802.1Q/p		P-Ethernet	
	Latency	주기	Latency	주기	Latency	주기
최대값	152.26	10.03	244.72	10.13	166.96	10.13
최소값	113.44	9.97	115.76	9.88	111.08	9.94
평균	131.92	10.00	145.04	10.00	132.53	10.00
표준편차	7.48	0.01	21.33	0.04	10.17	0.02

여기서 식(1)을 사용한다면, 100bytes의 Data와 64bytes의 ACK를 100Mbps 이더넷에서 송수신 하였으므로, T_{RT} 는 8 μ sec 이고, T_{ACK} 는 5.12 μ sec, T_{IFG} 는 1.2 μ sec가 된다. 여기서 $T_{latency}$ 는 131.92 μ sec가 측정되었고, 비실시간 프레임의 생성을 하지 않았기 때문에 $T_{blocking}$ 은 0이 될 것이다. 따라서 $T_{latency} - T_{RT} - T_{ACK} - T_{IFG}$ 는 117 μ sec가 된다. 이를 통하여 아래의 식을 구할 수 있다.

$$T_{latency_{Mbps}} = T_{blocking} + T_{RT} + T_{ACK} + 117.6\mu sec \quad (5)$$

본 시험에서는 802.1Q/p를 이용하여 100bytes의 실시간 프레임을 10ms 주기로 전송하고, 비실시간 프레임을 100bytes에서 이더넷 프레임의 최대 크기인 1500bytes를 랜덤한 크기로 1-20ms의 랜덤한 주기로 전송하여 802.1Q/p가 비실시간 프레임에 의하여 받는 영향을 측정하였다.

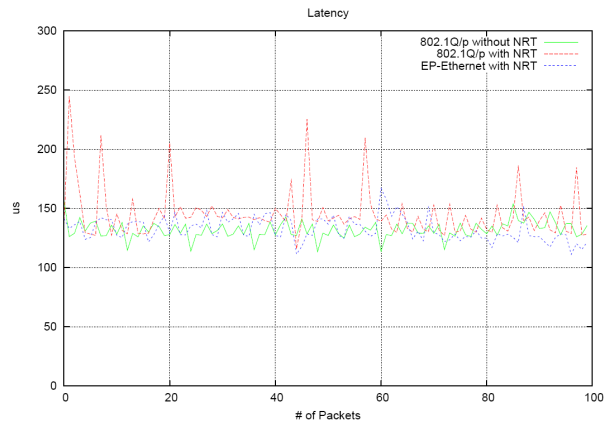


그림 10 실험결과 (지연시간)
Fig. 10 Test result(Latency)

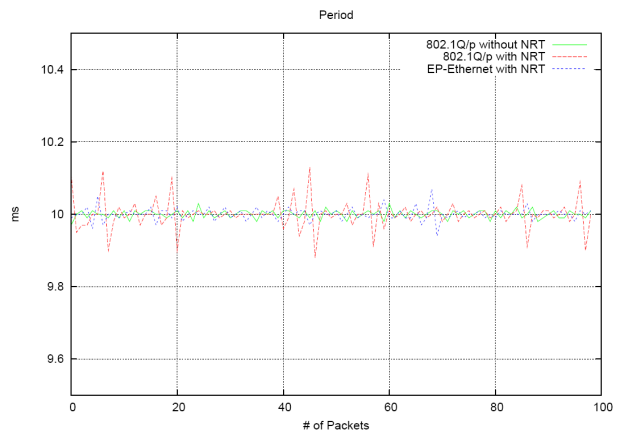


그림 11 실험결과(주기)
Fig. 11 Test result(Period)

최악의 경우 비실시간 프레임의 1499bytes의 $T_{blocking}$ 이 발생하므로 100Mbps 이더넷에서 $T_{blocking}$ 의 최대값은 120 μ sec가 발생하게 될 것이다. 측정결과 Latency의 최대값인 244.72 μ sec는 시험1의 Latency 평균값보다 110.80 μ sec의 추가 지연시간이 발생하였다. 그러므로 시험 결과는 예상결과와 유사하게 측정되었음을 알 수 있다.

반면 본 논문에서 제안하는 P-Ethernet를 이용하여 실시한 시험에서는 일반 이더넷을 이용한 시험에서 비실시간 프레임이 발생하지 않던 802.1Q/p와 유사한 데이터 값을 얻은 것으로 나타났다. 이는 P-Ethernet은 비실시간 프레임에 의한 실시간 프레임의 영향이 거의 없는 것을 입증하는 결과이다.

3. 결 론

본 논문은 IEC 61850의 실시간성을 제약하는 요소인 우선순위 블록킹을 해결하기 위하여 P-Ethernet을 제안하고, P-Ethernet 컨트롤러를 구현하였다. 제안된 P-Ethernet 컨트롤러는 802.1Q/p 프레임 포맷에 Sequence Number와 Remain Length가 추가된 새로운 프레임 포맷과 비실시간

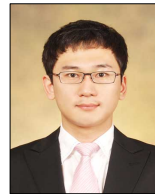
프레임의 전송을 중단하고 실시간 프레임 전송하는 새로운 우선순위 메커니즘을 수행한다.

제안한 P-Ethernet 과 P-Ethernet 컨트롤러의 성능을 평가하기 위하여 Virtex-4 FPGA에 Verilog HDL을 이용하여 구현하였다. 이를 MicroBlaze 프로세서와 연동하여 호스트와의 통신을 통하여 기능을 검증하였고, 실시간 프레임의 Latency 및 전송주기 측정을 통해 802.1Q/p에 비하여 다음과 같은 이점이 있다는 것을 확인하였다. 첫째, 비실시간 프레임에 의한 실시간 프레임의 Latency가 증가하는 현상을 줄일 수 있다. 실시간 시스템은 일정한 Time-bound를 벗어난다면, 치명적인 문제를 야기할 수 있는 시스템이다. 비실시간 프레임에 의한 실시간 프레임의 Latency를 줄임으로써 Time-bound를 벗어날 확률을 낮추어 실시간성이 향상되었다. 둘째, 비실시간 프레임에 의한 전송 주기의 변화가 거의 없다는 것이다. 주기적인 실시간 프레임 전송할 때의 주기의 변화율을 낮춤으로써 실시간 시스템의 정시성을 높였다. 위의 이점으로 보아 P-Ethernet을 사용하여 IEC 61850의 시스템을 구성한다면, IEC 61850의 실시간성 향상을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. E. Mackiewicz, "Overview of IEC 61850 and Benefits", Power Systems Conference, pp.623-630, 2006
- [2] Tarlochan S. Sidhu; Mitalkumar G. Kanabar; Palak P. Parikh, "Implementation Issues with IEC 61850 Based Substation Automation Systems", Fifth National Power Systems Conference, pp.473-478, 2008
- [3] 이일우; 박완기; 박광로; 손승원, "스마트 그리드 기술 동향", 한국통신학회 학회지 26권 제 9호, pp 24~33, 2009
- [4] Tarlochan S. Sidhu; Yujie Yin, "Modelling and Simulation for Performance Evaluation of IEC61850-Based Substation Communication Systems", Power Delivery; Vol 22; No3, pp1482-1489, 2007
- [5] Yingyi Liang; Roy H. Campbell, "Understanding and Simulating the IEC 61850 Standard", University of Illinois at urbana-champaign, 2008
- [6] Cagil R. Ozansoy, "Design & Implementation of a Universal Communications Processor for Substation Integration, Automation and Protection", Victoria University, 2006
- [7] Jianbo XIN; Xianzhong DUAN; Hongming Yang, "A Information model based scheme based on priority transfer scheme in switched Ethernet for substation process-level", Universities Power Engineering Conference, 2004
- [8] Qizhi Zhang; Weidong Zhang, "Priority Scheduling in Switched Industrial Ethernet", American Control Conference, 2005
- [9] Igor Mahor, "Ethernet IP Core Design Document", Rev0.4, www.opencores.org, 2002
- [10] Igor Mahor, "Ethernet IP Core Specification", Rev1.19, www.opencores.org, 2002
- [11] Opencores, "WISHBONE System-on-Chip(SoC) Interconnection Architecture for Portable IP Cores", Rev B.3, www.opencores.org, 2002
- [12] Wireshark Foundation, "Wireshark", http://www.wireshark.org

저 자 소 개



이 범 용 (李 汎 鏞)

1986년 1월 14일생. 2008년 인하대 정보공학과 졸업. 2010년 동 대학원 정보공학과 졸업(공학석사). 현재 (주) 텔레칩스 근무. 관심분야 : 임베디드시스템, 실시간 네트워크



박 태 림 (朴 泰 林)

1974년 7월 28일생. 1998년 인하대학교 자동화공학과, 2000년 동대학원 석사, 2005년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 박사, CUNY Research associate, assistant research professor. 현재 (주)삼성전자 종합기술원 근무. 관심분야 : 무선센서 네트워크, 초저전력 근거리통신



박 재 현 (朴 宰 賢)

1963년 10월 8일생, 1986년 서울대학교 제어계측공학과 졸업, 1994년 동대학원 제어계측공학과 박사, 1994년 Univ. of Michigan research scientist, 1995년 이후 현재 인하대학교 자동화공학과 및 정보통신공학부 근무. 관심분야: 임베디드 시스템, 실시간 제어, 컴퓨터 네트워크