

IEC 61850 통신에서의 전송 지연시간 개선을 위한 실시간 임베디드 시스템 개발

Development of real-time embedded systems for reducing the transmission delay latency in IEC 61850 communication

조 창 두* · 강 승 화* · 강 상 희** · 남 순 열†

(Chang - Doo Cho · Seung-Hwa Kang · Sang-Hee Kang · Soon-Ryul Nam)

Abstract - Depend on delay latency rule for message transmission defined in IEC 61850 standard, the fastest message has to be transferred within 3us. This paper suggests how to structure the real time message transmit test environment of IEC 61850 and develop how to securing IEC 61850 communication performance based on IEC 61850 by measuring delay latency of message transfer on embeded linux system.

Key Words : IEC 61850, GOOSE, RTDS, GTNET, Real time, LINUX, Embedded system

1. 서 론

최근 변전자동화 시스템은 IT 시스템과 통신 인프라의 결합이 이슈화됨에 따라 디지털 기술을 기반으로 하는 자동화된 전력 감시제어 시스템으로서 핵심적인 기능을 수행하고 있다. 그에 따라 통신 국제 규격인 IEC 61850을 표준으로 하는 Agent IED 개발을 목표로 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. IEC 61850 표준 규약에서 정의하고 있는 상호운용성 확보 및 서비스구현에 대한 기능을 만족하기 위해 IED 성능 테스트가 중요시되며 관련 업계 시장도 점점 확대되어가고 있다. 하지만 아직까지 기존의 IED에서는 GOOSE 메시지 전송시간이 IEC 61850 표준 규약에 미치지 못하고 있으며, 이러한 문제점 해결을 위해 실시간 운영체제 적용을 통한 GOOSE 메시지 전송 시간 개선이 요구되고 있다. 본 논문은 GOOSE 메시지 전송시간 단축을 위한 실시간 임베디드 리눅스 시스템의 적용과 리눅스 커널의 최적화에 따른 통신성능 모의 시스템을 구성하였고, 실시간 성능 측정을 위해 Cyclicttest라는 응용프로그램을 사용하여 실시간 임베디드 시스템의 성능을 확인하였다. 또한 IEC 61850 기반 GOOSE 메시지의 전송시간 측정을 위하여 RTDS의 GTNET 카드와 FALINUX사의 S3C6410보드를 이용한 IED 통신성능 시험환경을 구축하고 GOOSE 메시지 전송 시 소요되는 Loop back delay time에 대한 측정 실험을 수행하였다. 이를 통해서 IEC 61850 기반 실시간 임베디드 시스템이 적용된 통신보드를 개발하였다.

2. GOOSE 메시지 통신 성능

IED는 상호간의 통신을 위해 Manufacturing Message Specification (MMS), Generic Object-Oriented Substation Event (GOOSE) 메시지 및 Sampled Value (SMV)의 세 가지 통신 규약을 사용하고 있으며 그중에서 트립신호, 차단기 상태정보 등 실시간 메시지 전송에서는 GOOSE 메시지가 사용된다. GOOSE 메시지는 IEC 61850 표준 규약에 의해서 실시간 데이터 전송을 위한 엄격한 시간 제약을 만족해야 한다. IEC 61850 표준 규약에서 정의하고 있는 GOOSE 메시지 최대 전송 지연시간은 표 1과 같다[1].

표 1 IEC 61850 표준 규약에서 정의하고 있는 GOOSE 메시지의 최대 전송 지연시간

Table 1 Maximum delay latency for GOOSE message defined in IEC 61850 standard

속도별 메시지 타입		통신 요구사항	
type 1	Fast	Trip	Performance Class P1: 3 ms
		Others	Performance Class P2/3: 10 ms
type 2	Medium Speed	100 ms	
type 3	Low Speed	500 ms	

하지만 기존의 IED 성능으로는 IEC 61850 표준 규약에 적합한 GOOSE 메시지 전송속도를 만족하기 어렵다. IEC 61850 통신을 구현하기 위한 IED의 운영체제는 일반적으로 임베디드 리눅스를 많이 적용한다. 임베디드 리눅스는 실시간성을 보장하기 어렵기 때문에 정확한 동작시간 제어가 요

* 준 회원 : 명지대학교 전기공학과 석사과정
 ** 정 회원 : 명지대학교 전기공학과 교수
 † 교신저자, 정회원 : 명지대학교 전기공학과 부교수
 E-mail : ptsouth@mju.ac.kr
 접수일자 : 2012년 6월 5일
 최종완료 : 2012년 10월 16일

구되는 IEC 61850 표준 규약에 만족하는 GOOSE 메시지 최대 전송 지연시간을 구현하기 어려운 문제점이 있다. 따라서 이와 같은 임베디드 시스템 기반 IED의 GOOSE 메시지 실시간 전송 문제점을 개선하기 위해 리눅스 커널에 실시간 패치인 PREEMPT-RT를 적용하여 실시간 임베디드 시스템을 구축하였다.

2.1 실시간 임베디드 시스템 개발

GOOSE 메시지에 요구되는 최대 전송 지연시간을 만족하기 위해서는 정확한 동작시간을 제공하는 실시간성이 보장되어야 하며 이를 위한 실시간 임베디드 시스템 적용을 위해서 기존 시스템에 PREEMPT-RT를 패치 하였다. PREEMPT-RT는 경성 실시간 시스템(Hard Real-time System)으로써 실시간 나노커널 혹은 마이크로 커널 상에서 리눅스를 지원하는 형태로 이루어지며, 수행시간을 예측 가능하도록 만들기 위하여 선점형 커널과 인터럽트 지연의 최소화, 고정밀 타이머, 실시간 동기화 기법 등이 제공된다[3]. 이러한 PREEMPT-RT의 적용에 따른 실시간 운영체제는 고정밀 타이머와 연계되어 보다 정밀한 동작과 프로세스의 시스템 호출을 통한 선점이 가능해 기존의 동작시간 보다 정확한 동작시간을 보장한다. 따라서 본 연구에서는 PREEMPT-RT를 적용한 실시간 임베디드 리눅스 시스템을 개발하였으며 기존의 임베디드 리눅스 시스템과 응답 지연시간에 대한 결과를 비교하여 실시간 성능 향상을 검증하였다[4].

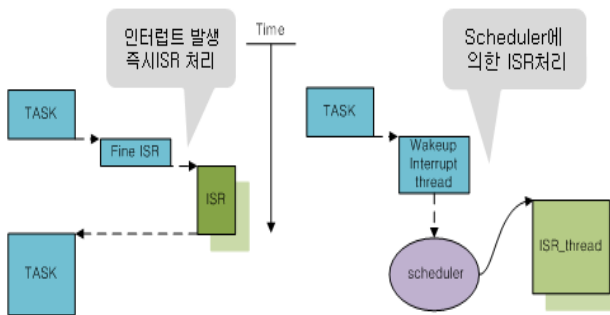


그림 1 실시간 시스템 적용에 따른 성능 향상
Fig. 1 Performance improvement resulting from the application of Real-time System.

2.1.1 Cyclicttest를 이용한 임베디드 시스템의 응답 지연시간 측정

임베디드 시스템의 실시간 성능을 측정하기 위해서 Cyclicttest를 이용한 시스템 응답 지연시간 측정을 하였다[5]. Cyclicttest는 응용프로그램 수준에서 CPU를 강제적으로 호출 하는 주기적인 이벤트를 이용하여 실시간 태스크에 대한 응답 지연시간을 측정하며, 각종 파라미터를 수정하여 다양한 테스트가 가능하다. 이러한 성능 측정 방법은 실시간 시스템을 개발하고자 하는 개발자들에게 실시간 성능을 일관되게 측정할 수 있도록 한다. 본 연구에서는 2.6.29 리눅스 커널 기반의 임베디드 시스템과 동일한 버전의 커널에 PREEMPT-RT를 적용한 실시간 임베디드 시스템에 각각

Cyclicttest 응용프로그램을 적용하여 응답 지연시간을 측정하였으며 그 결과를 표 2에 정리하였다.

표 2 Cyclicttest를 이용한 응답 지연시간 측정 결과
Table 2 Measurement results of responsive delay latency using Cyclicttest

	Min[μs]	Avg[μs]	Max[μs]
Original	217	232	594
PREEMPT_RT	382	417	1690

표 2는 하나의 태스크가 3000회 이상 반복적으로 루프를 수행했을 때, Min은 가장 작은 응답 지연시간, Max는 가장 큰 응답 지연시간, Avg는 평균적인 응답 지연시간을 나타내고 있다. 측정결과를 비교해 보았을 때, PREEMPT-RT 패치 적용 전의 시스템과 패치 적용 후의 시스템은 평균 응답 지연시간에서 약 2배의 차이가 발생하였으며, Max와 Min에서도 약 2배에서 3배 정도의 응답 지연시간 차이로 시스템이 태스크를 수행한다는 결과를 얻었다.

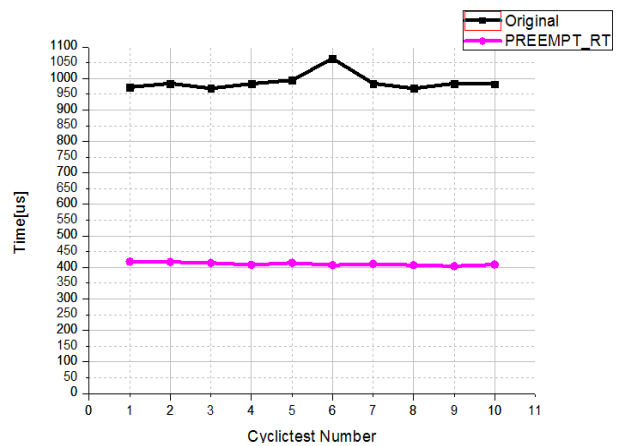


그림 2 Cyclicttest를 이용한 응답 지연시간 측정값의 분포
Fig. 2 Measurement distribution of responsive delay latency using Cyclicttest

그림 2는 Cyclicttest를 10회 이상 반복적으로 수행했을 때 시스템의 평균적인 응답 지연시간을 나타내는 그래프이다. 반복적인 응답 지연시간 측정을 통해서 시스템의 안정적인 동작을 확인할 수 있었다. 검은색 선은 기존 시스템의 응답 지연시간 분포도이며, 분홍색 선은 PREEMPT-RT가 패치된 시스템의 응답 지연시간 분포도이다. 기존 시스템의 경우에는 불규칙적인 응답 지연시간으로 인해서 일정하지 않은 시스템 동작 분포를 나타내고 있다. 하지만 PREEMPT-RT가 패치된 시스템의 경우에는 일정한 응답 지연시간을 나타내어 안정적으로 시스템이 동작하였다. 따라서 Cyclicttest를 이용한 기존의 시스템과 실시간 시스템의 응답 지연시간을 비교함으로써 PREEMPT-RT 패치에 따른 실시간 임베디드 시스템의 성능을 확인할 수 있었다.

2.2 IEC 61850 실시간 시험 환경 구축

IEC 61850 표준 규약에 따른 주요 서비스를 구현하기 위

메시지의 분석을 통해 GTNET과 통신보드의 상호운용성을 검증할 수 있다.

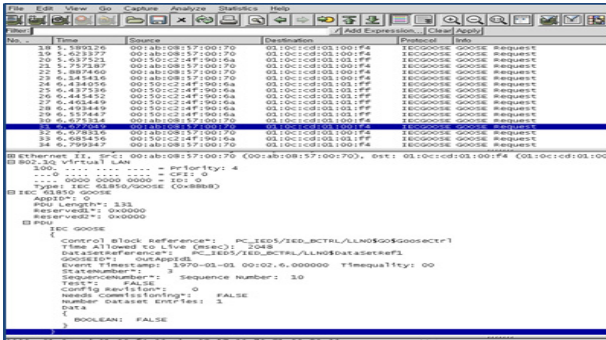


그림 6 MMS-Ethernet을 이용한 GTNET과 통신보드의 GOOSE 메시지 캡처
 Fig. 6 GTNET and communication board GOOSE message Capture

2.3 전송 지연시간 측정 실험 및 결과

전술한 바와 같이 본 연구에서는 RSCAD의 모델링을 이용하여 타이머가 시작하는 순간 GTNET의 Publisher가 GOOSE 메시지를 전송하도록 하고, GTNET의 Subscriber는 통신보드의 Publisher가 전송하는 GOOSE 메시지를 수신하는 순간 타이머를 멈추도록 구성하였다. 이와는 반대로 통신보드에서는 Subscriber가 GTNET의 Publisher가 송신하는 GOOSE 메시지를 수신하는 순간 통신보드의 Publisher가 GOOSE 메시지를 곧바로 송신하도록 구성하였다. 따라서 RTDS의 타이머에서 측정되는 시간은 GTNET의 Publisher가 GOOSE 메시지를 전송하는 순간부터 GTNET의 Subscriber가 통신보드에서 전송하는 GOOSE 메시지를 수신하는 순간까지를 나타낸다. 이와 유사하게 통신보드의 소요시간은 통신보드의 Subscriber가 GTNET의 Publisher에서 전송하는 GOOSE 메시지를 수신하는 순간부터 통신보드의 Publisher가 GOOSE 메시지를 전송하는 순간까지의 시간을 나타내며, 이는 MMS-Ethernet을 이용해서 측정이 가능하다. RTDS의 타이머에서 측정되는 시간과 MMS-Ethernet에서 측정 되는 시간을 수집해서 전체시간을 각각의 구성요소가 갖는 전송 지연시간으로 분석하였다.

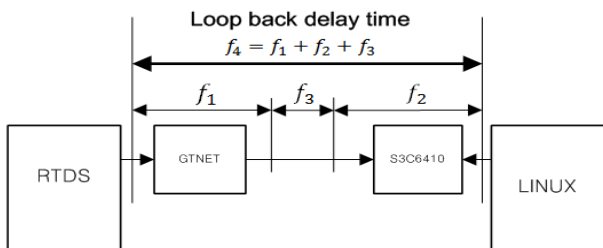


그림 7 시간지연의 정의
 Fig. 7 Definition of delay latency

구성요소는 통신보드에서 소요되는 시간 f_2 와 케이블 및 이더넷 스위치에서 소요되는 시간 f_3 , GTNET에서 소요되는 시간 f_1 이 되는데, 케이블 및 이더넷 스위치에서 소요되

는 시간은 극히 미미하여 무시할 수 있다. 표 3과 표 4는 각각 기존 시스템과 실시간 시스템에 대해 RTDS의 GTNET을 이용한 시험환경을 적용하여 측정한 GOOSE 메시지 전송 지연시간을 보여주고 있다.

표 3 기존 시스템에 대해 측정한 GOOSE 메시지 전송 지연시간

Table 3 Delay latency of GOOSE message for the existing system

	타이머 측정시간 [ms]	통신보드 소요시간 [ms]	GTNET 소요시간 [ms]
1	35.10	34.42	0.67
2	37.25	36.59	0.65
3	36.80	36.12	0.67
4	36.95	36.27	0.67
5	36.05	35.38	0.66
6	35.95	35.33	0.61
7	36.10	35.39	0.71
8	35.80	35.11	0.69
9	37.70	36.95	0.74
10	35.30	34.58	0.71
평균	36.30	35.61	0.68

표 4 실시간 시스템에 대해 측정한 GOOSE 메시지 전송 지연시간

Table 4 Delay latency of GOOSE message for the real-time system

	타이머 측정시간 [ms]	통신보드 소요시간 [ms]	GTNET 소요시간 [ms]
1	3.15	2.44	0.70
2	2.40	1.66	0.73
3	2.75	1.99	0.75
4	1.75	1.04	0.70
5	2.50	1.74	0.75
6	2.85	2.21	0.63
7	2.60	1.83	0.76
8	3.00	2.10	0.89
9	2.70	1.99	0.70
10	2.21	1.53	0.67
평균	2.59	1.85	0.73

기존 시스템에 대한 측정 결과인 표 3에 따르면 RTDS 타이머에서 측정된 지연시간은 평균 36.30ms로서 GOOSE 메시지를 Publish하기위해 소요되는 시간과 Subscribe하기 위해 소요되는 시간이 동일하다고 가정하였을 때, GOOSE 메시지 전송 지연시간은 평균 18.15ms가 된다. 통신보드가 GOOSE 메시지를 Subscribe 및 Publish하기위해 소요하는 약 35.61ms의 시간지연으로 인해서 IEC 61850 표준 규정 시간을 만족하지 못하고 있음을 확인하였다. 하지만 실시간 시스템 측정 결과인 표 4에 따르면 RTDS 타이머에서 측정된 지연시간은 평균 2.59ms로서 표 3에서의 정의와 동일하게 GOOSE 메시지를 Publish하기위해 소요되는 시간과 Subscribe하기위해 소요되는 시간이 동일하다고 가정하였을 때 GOOSE 메시지 전송시간은 평균 1.28ms가 된다. 또한 통신보드가 GOOSE 메시지를 Subscribe 및 Publish 하기위한 소요시간이 1.85ms로 개선된 것을 확인함으로써 IEC

61850 표준 규정을 만족하는 실시간 임베디드 시스템의 성능을 검증하였다.

3. 결 론

본 논문은 IEC 61850 표준 규정에서 정의하고 있는 GOOSE 메시지 전송 지연시간을 만족할 수 있는 통신 플랫폼을 구축하기 위해서 PREEMPT-RT 패치를 적용한 실시간 임베디드 시스템을 개발 하였으며, RTDS의 GTNET을 이용한 IEC 61850 기반 IED의 통신 시험환경을 구축하였다. 기존의 통신보드에서 발생할 수 있는 지연시간 문제점을 개선시키기 위해서 기존의 임베디드 리눅스 시스템에 PREEMPT-RT 패치를 적용한 실시간 임베디드 시스템을 개발 하였으며, Cyclictst 응용프로그램을 이용한 응답 지연시간 분석을 통해서 실시간 시스템이 기존의 시스템에 비해서 응답 지연시간 및 성능이 개선되었음을 확인하였다. 또한 RTDS의 GTNET을 이용한 실시간 시험환경을 적용하여 GTNET과 실시간 임베디드 시스템의 GOOSE 메시지 최대 전송 지연시간이 IEC 61850 표준 규정을 만족할 수 있도록 3ms 이내로 개선되었음을 확인하였다. 향후 연구에서는 RTDS의 실시간 계통모의 기능과 GTNET의 IEC 61850 통신 기능을 통합하여 IEC 61850 기반 실시간 IED의 종합성능 시험환경을 구축할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2012-0001591)

참 고 문 헌

- [1] IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations - All parts, Reference Number IEC 61850-SER, Papers Presented at Conferences
- [2] 김형규, 강상희, "IEC 61850 기반 후비보호계전시스템 보호협조 개선방안", 대한전기학회, Vol. 60, 2011
- [3] <http://www.ibm.com/developerworks/kr/library/1-real-time-linux/>
- [4] Marcin Piątek, "Real-Time Application Interface and Xenomai modified GNU/Linux real-time operating systems dedicated to control", Mickiewicza,30-059, 2011 Automation Conf., pp. 12-17, 1994.
- [5] <https://www.osadl.org/Realtime-Preempt-Kernel.kernel-rt.0.html>
- [6] Rick Kuffel, Dean Ouellette, Paul Forsyth, "Real Time Simulation and Testing Using IEC 61850" Modern Electric Power Systems 2010 Poland,09
- [7] 이남호, 장병태, "IEC 61850 규격기반 디지털 변전자동화시스템 통신성능 시험에 관한 연구", 대한전기학회, Vol. 57,2008
- [8] International Standard IEC 61850-5 Part 13 :

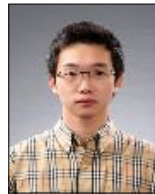
Specific Communication Service Mapping(SCSM) - Mappings to MMS - first edition 2003-07

저 자 소 개



조 창 두 (趙 昌 斗)

1985년 12월 23일생. 2010년 8월 명지대학교 전기공학과 졸업, 2012년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
E-mail : whckden@mju.ac.kr



강 승 화 (姜 承 和)

1986년 8월 26일생. 2012년 2월 명지대학교 전기공학과 졸업, 2012년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
E-mail : bono826@naver.com



강 상 희 (姜 相 熙)

1985년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 명지대학교 전기공학과 교수
Tel : 031) 330-6364
E-mail : shkang@mju.ac.kr



남 순 열 (南 淳 烈)

1996년 서울대 전기공학부 졸업, 1998년 동대학원 전기공학부 졸업(석사), 2002년 동대학원 전기공학부 졸업(박사), 현재 명지대학교 전기공학과 부교수
Tel : 031-330-6361
E-mail : ptsouth@mju.ac.kr