원자력 발전소 제어 통신망을 위한 통신망 관리

김광현, 김영신, 권욱현

Network Management for Nuclear Power Plant Control Network

Kwang-Hyun Kim, Young Shin Kim, Wook Hyun Kwon

Abstract - 본 논문에서는 원자력 발전소의 제어 통신망을 위해 설계된 통신망 접속장치의 특징을 살펴보고 그에 적합한 통신망 관리의 구조와 서비스를 제안한다. 제안된 통신망 관리는 통신망의 초기화, 파라미터의 조정, 그리고 오류 처리를 담당한다. 제안된 통신망 관리는 물리 매체의 이중화, 통신망 접속장치의 이중화 그리고 시스템 이중화 등을 고려하여 설계되었다.

1. 서 론

원자력 발전소에 디지털 시스템이 도입되기 시작한 것은 극히 최근이다. 디지털 시스템에 대한 신뢰성과 안정성에 대한 검증 및 확인이 이루어지지 않아 아날로그 시스템만이 원자력 발전소에 사용되었다. 최근 들어 마이크로 프로세서의 발달과 관련하여 많은 디지털 시스템이 산업계에 적용되어 유용함과 편리함이 확인되면서 차츰 원자력 발전소의 비안전 관련 부분부터 디지털 시스템이 도입되고 있다. 이와 더불어 원자력 발전소의 분산 제어 시스템을 위한 고신뢰 통신망에 대한 연구가 이루어지고 있다. PICNET-NP (Plant Instrumentation and Control Network for Nuclear Power Plant) [1]는 이러한 연구 중에 하나로 원자력 발전소 제어 통신망의 요구 조건을 갖추어 원전에 적용되기 위해 개발되고 있다.

본 논문에서는 PICNET-NP를 위한 통신망 관리의 구조와 서비스를 제안한다. 원자력 발전소의 제어통신망을 대상으로 한 통신망 관리에 대한 연구는 별로 되어있지 않다. 통신망 관리에 대한 연구로는 Mini-MAP 시스템에서의 통신망 관리가 있다[2]. 이 연구에서는 통신망 관리의 구성과 함께 통신망 관리를 이용한 LLC (Logical Link Control) 이하의 이중화 방식이 제안되었다. 하지만 원자력 발전소 제어 통신망의 특수한 구조에 이러한 기존의 연구를 그대로 적용하기는 쉽지 않다. 그리고 통신망 관리에 대한 표준화 노력[3]도 있었으나 그다지 호응을 얻지는 못하였다. 또한 이러한 연구에서는 대부분이 기능에 중점을 두었기 때문에 실제 구현할 때는 상당한 어려움을 수반한다.

본 연구에서는 원자력 발전소의 제어통신망과 같이 안정성과 신뢰성이 중요시되는 분야에 적용되는 통신망 관리를 제안한다. 제안하는 통신망 관리는 멀티 태스킹 환경과 실시간 스케줄링을 위해서 실시간 운영체제를 기반으로 설계된다. 그리고 PICNET-NP에서 고려한 원자력 발전소의 안전성과 신뢰성을 위한 요구사항들을 만족한다.

2장에서는 PICNET-NP의 구조와 특징을 소개하고, 3장에서는 통신망 관리의 구조 및 서비스를 제안한다. 결론과 앞으로의 연구가 4장에 있다.

2. PICNET-NP의 구조

PICNET-NP 시스템은 호스트와 통신망 접속장치 (Network Interface Unit, NIU)로 구성되어 있으며 호스트는 NIU를 통해서 통신망과 접속된다. 그림 2.1에 보인 것처럼 응용계층, 데이터링크 계층, 물리 계층의 3계층 구조로 구성되어 있다. NIU와 호스트에는 통신 기능을 수행하는 여러 프로세스들이 동작한다. 이러한 프로세스들은 우선 순위에 기반하여 실시간 스케줄링된다. 호스트에서는 원전 제어를 위한 응용 프로그램이 수행되며 API (application program interface)를 사용하여 통신 서비스를 받는다. NIU에는 응용 계층과 LLC, 그리고 MAC (medium access control)의 일부분을 위한 프로세스들이 존재한다. 호스트에도 응용계층을 위한 프로세스가 존재하여 VME 버스를 통하여 데이터 교환을 한다.

PICNET-NP는 실시간 통신을 보장하기 위해서 통신 관련 프로세스들을 긴급 서비스(urgent service)와 주기 서비스(periodic service) 그리고 고급 서비스(high class service)로 나누고 지원한다. 각각 다른 우선 순위를 가지며 우선 순위에 기반하여 실시간 스케줄링된다. 이들 서비스들은 낮은 우선 순위가 높은 우선 순위의 실행을 블록킹하지 않도록 하기 위해서 최대한 독립된 통신 채널을 지원하도록 설계되었다. 또한 PIP (priority inheritance protocol) 방식[6]의 스케줄링을 지원하는 실시간 운영체제를 사용함으로써 우선 순위 역전(priority inversion) 현상을 방지하도록 하였다.

PICNET-NP는 제어 통신망으로서 산발적인 이벤트나 명령 혹은 오류의 처리가 중요하므로 긴급 서비스에 가장 높은 우선 순위를 할당한다. PICNET-NP는 MAC로 토큰 버스 방식으로 알려져 있는 IEEE 802.4 매체 제어 프로토콜을 사용한다. [4, 5] 이 프로토콜은 이벤

트에 의해 요구되는 통신망 서비스의 처리에 적합하다. 또한 주기적인 서비스는 이 토큰 버스 MAC 프로토콜에서 제공하는 L_REPLY 서비스를 사용하여 구현된다[4, 5]. 고급 서비스는 실시간 전송을 요구하지 않는 서비스로서 가장 낮은 우선 순위를 할당받는다.

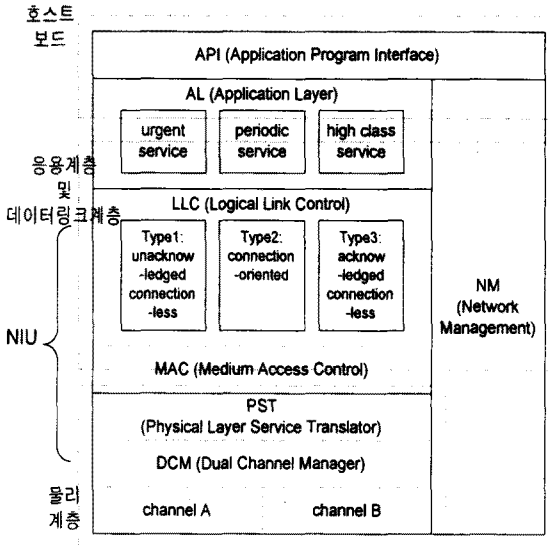

그림 2.1 PICNET-NP 시스템의 구성

통신망 관리는 이러한 통신 관련 프로세스들의 초기화와 구성의 조정 그리고 통신망에서 발생하는 오류의 처리를 맡아 PICNET-NP 시스템이 신뢰성 있게 동작할 수 있도록 한다. 통신망 관리는 PICNET-NP 시스템의 안전성을 위하여 물리층 및 NIU 그리고 시스템 이중화를 지원하도록 설계된다. MAC는 수신시에 두 개의 물리층을 통해 올라온 데이터 중 하나를 취하고 송신시에는 두 물리층 모두를 통해서 데이터를 전송하게 된다. NIU의 이중화는 호스트 보드에 의해서 시스템 이중화는 상위 보드에 의해서 구현된다.

PICNET-NP의 각 노드는 통신망 관리 기능에 따라서 통신망 매니저(manager)와 에이전트(agent)로 구분된다. 통신망 매니저는 통신망에 연결된 에이전트들의 중요한 구성 정보와 통신 상태를 체크하고 초기화 시에 이러한 설정을 변경한다.

3 통신망 관리

PICNET-NP에서 통신망 관리의 역할은 크게 구성 관리와 오류 관리 그리고 성능 관리로 나뉜다. 구성 관리 기능에는 초기화 기능과 구성 정보의 변경 및 얻기 등이 있다. 오류 관리 기능은 각 계층에서의 오류 보고와 물리층과 MAC에서의 인터럽트, 그리고 버스 에러나 와치도그와 같은 예외 등을 이용하여 통신 관련 오류나 하드웨어 및 소프트에어 오류를 감지한다. 감지된 오류에 따라 이중화 매체의 절체 등과 같은 이중화 기능이 연결된다.

3.1 통신망 관리와 각 계층과의 인터페이스

통신망 관리의 개별적인 서비스들은 프로세스나 함수의 형태로 제공된다. 통신망 관리의 프로세스는 큐나 세마포어 등을 이용하여 어떤 이벤트의 발생을 기다린다. 통신망 관리의 함수는 다른 계층의 프로세스에 의해서 혹은 통신망 관리의 다른 함수나 프로세스에 의해서 호출되어 사용된다. 통신망 관리는 각 계층의 정보나 시스템 전반의 정보를 관리하기 위하여 공유 메모리의 특정 영역에 DIB(data information base)를 둔다.

통신망 관리는 DCM의 레지스터 설정을 통해서 물리 매체를 선택할 수 있다. 통신망 관리는 물리 매체가 절체될 때마다 공유 메모리 DIB의 물리 매체 선택 정보를 갱신한다. DCM은 물리 매체의 오류가 발생할 때 인터럽트를 이용하여 통신망 관리에 알려준다.

통신망 관리는 초기화 시에 데이터링크 계층과 응용계층에서 동작하는 프로세스들의 우선 순위를 지정한다. 통신망 관리는 MAC의 초기화 시에 사용되는 통신 관련 파라미터들의 값을 공유 메모리의 DIB에 반영한다. 통신망 관리는 이 파라미터들을 바꾸고 MAC를 재시작하여 MAC의 통신 설정을 바꿀 수 있다. 데이터링크 계층과 응용 계층의 프로세스들의 코드 내부에서의 오류 처리 부분이나 오류와 관련된 인터럽트 서비스 루틴은 통신망 관리에서 제공하는 함수인 err_log를 사용하여 오류의 발생 사실과 종류를 네트워크 관리에 알릴 수 있다. err_log 함수는 DIB의 특정 오류 관련 통계 데이터를 갱신하고, 이 데이터가 설정치를 넘게 되면 호스트나 매니저 NIU로 보고를 하여 이중화 절체와 연결시킨다. MAC에서는 또한 하드웨어적인 인터럽트[5]를 이용하여 통신망 관리에 MAC와 관련된 이벤트 발생을 신속하게 알릴 수 있다.

3.2 통신망 관리에서의 데이터 교환

통신망 관리에서의 데이터 교환은 호스트와 NIU 사이에서 VME 버스를 통하여 이루어지는 것과 통신망 매니저와 통신망 에이전트 사이에서 이루어지는 것 두 가지가 있다. VME 버스를 통한 데이터 교환에서는 공유 메모리와 인터럽트를 사용한다. 호스트에서 NIU로 어떤 명령을 보낼 때는 공유 메모리에 위치한 DIB에 명령의 내용을 쓰고 NIU에 인터럽트를 건다. 이 DIB를 접근할 때는 상호 배제를 위해서 세마포어를 사용한다. NIU에서의 인터럽트 서비스 루틴에서는 이 영역의 내용을 읽고 그 명령에 맞는 프로세스를 깨운다. 인터럽트 서비스 루틴에서는 명령을 읽은 후 위의 세마포어를 풀어 공유 메모리 영역을 다시 쓸 수 있도록 한다. NIU에서 호스트로 이벤트를 보고하는 것도 위의 과정과 비슷하다. 그림 3.1에 동작을 보였다.

통신망 매니저와 통신망 에이전트 사이에서의 데이터 교환을 위해서는 전용 프로세스가 존재한다. 각 프로세스는 데이터링크 계층의 서비스를 이용하여 상호 데이터를

그림 3.1 네트워크 관리 서비스의 구현

교환한다. 데이터링크 계층과의 접속은 큐를 사용하며, 통신망 관리를 위한 채널을 따로 두어 통신망 관리 서비스의 독립성이 보장되도록 한다. 그림 3.1에 보였다.

3.3 통신망 관리의 서비스 및 구조

그림 3.1은 통신망 관리 서비스의 함수 및 프로세스와 공유 메모리에 위치한 DIB를 표시한 것으로 함수나 프로세스들의 상호 관계와 공유 메모리와 인터럽트의 사용, 큐나 세마포어의 사용, 데이터링크 계층과의 관계 등이 나타나 있다. 통신망 매니저와 통신망 에이전트는 통신망 관리 서비스들을 사용하여 알맞은 통신망 관리 기능을 수행한다. 다음은 그림 3.1에 있는 함수나 프로세스들의 기능을 설명한 것이다.

『호스트 쪽』

- nm_h_initialize : 호스트 쪽의 통신망관리 서비스와 관련된 부분을 초기화
- nm_h_snd_signal : NIU에 인터럽트를 걸어 호스트의 통신망 관리 관련 명령을 전달
- nm_h_set_sysconfig : 시스템과 관련된 구성의 변경 (로컬/ 원격)
- nm_h_set_mac_config : MAC의 설정 변경 (로컬/원격)
- nm_h_reset : NIU의 리셋 (로컬/원격)
- nm_h_restart : NIU의 MAC 이하 리셋(로컬/원격)
- nn_h_switch_phy : NIU의 여분의 매체로의 교체 (로컬/원격)
- nm_h_switch_NIU : 호스트와 연결된 여분의 매체로의 교체(로컬/원격)
- nm_h_event_rcv : NIU에서의 이벤트 및 오류 보고를 수신
- nm_n2h_isr : NIU로부터의 인터럽트에 대한 인터럽트 서비스 루틴

『NIU 쪽』

- nm_h2n_isr : 호스트에서의 nm_h_snd_signal에 의한 인터럽트 서비스 루틴, 명령의 종류에 따라 적절한 서비스를 호출
- nm_n_niu_initialize : NIU의 초기화를 담당. 서비스들의 초기화와 실시간 운영체제 자원의 초기화
- nm_n_reset : NIU의 리셋(로컬/원격) 원격의 경우 nm_n_snd_frame을 통하여 원격의 nm_n_reset을 호출
- nm_n_restart : NIU의 MAC이하 리셋(로컬/원격)
- nm_n_switch_phy : MODEM의 매체 교체(로컬/원격)
- nm_n_mac_update : NIU의 MAC 설정 변경(로컬/원격)
- nm_n_snd_signal : 호스트로의 시그널 인터럽트를 통하여 오류나 이벤트 보고를 한다.
- nm_n_event_report : nm_n_snd_signal을 통하여 호스트에 오류나 이벤트 보고 하거나 nm_n_snd_frame을 통하여 매니저 NIU에 보고
- err_log : 각 계층의 프로세스에서의 오류 처리 부분이나 오류 관련 인터럽트 서비스 루틴에서 사용. 오류 관련 통계 데이터를 변경하거나 설정치를 초과한 오류의 경우 nm_n_event_report 를 호출하여 호스트나 매너지 NIU에 보고
- nm_n_rcv_frame : 데이터링크 계층을 통해 전달된 통신망 관리 프레임을 처리
- nm_n_snd_frame : 데이터링크 계층을 통하여 원격의 NIU에 통신망 관리 프레임을 전달

4. 결 론

본 논문에서는 원자력 발전소의 제어를 위한 고신뢰 통신망을 위한 통신망 관리의 서비스 및 구조를 제안했다. 통신망 관리를 위한 DIB (Data Information Base)의 구조와 관련된 서비스를 제안하였다. 제안된 통신망 관리는 VME 버스를 통한 데이터 교환과 통시망 매니저와 통신망 에이전트 사이의 통신을 통한 통신망 관리 기능이 이루어지도록 했다. 또한 안정성과 신뢰성을 높이기 위해 매체 이중화, NIU 이중화 그리고 시스템 이중화를 위한 기능을 제공한다. 이러한 결과들은 높은 안정성과 신뢰성을 요구하는 원자력 발전소를 대상으로 하였기 때문에 수화력 발전소를 비롯하여 많은 산업 현장에 적용 가능하다.

향후의 연구 관제로는 실제 통신망 환경에서 오류가 발생할 때의 통신망 관리의 동작 시험과 통신망 관리의 초기화 과정에서 프로세스의 우선 순위 조정에 따른 성능 변화에 대한 연구 그리고, 그것을 통한 최적의 통신망 구성에 대한 연구 등이 있다.

[참 고 문 헌]

[1] "원전 분산제어시스템용 고신뢰 Network 기술 개발", 한전 전력연구원, 1997

[2] 문홍주, "Mini-MAP 시스템의 결함 허용성을 위한 결함 감지 및 복구 기법", 제어 자동화 시스템 공학 논문지, 제 4 권, 제 2 호, pp.264-272, 1998년 4월.

[3] MAP 3.0 Specification 1993 Release, C11AT1 NM Mechanisms & Protocols, 1993.

[4] ISO/IEC 8802-4 ANSI/IEEE Std 802.4 Information processing systems - Local area networks - Part 4 : Token-passing bus access method and physical layer specifications.

[5] MC68824 User's Manual, Motorola, 1993.

[6] Lui Sha, Ragunathan Rajkumar, John P. Lehoczky, "Priority Inheritance Protocols : An Approach to Real-Time Synchronization", IEEE Transactions on COMPUTER, Vol. 39, No. 9, pp. 1175 - 1185, September, 1990.