

원자력 발전소 분산제어 시스템을 위한 중위 계층 통신망의 성능 분석

이 성 우
한국전력공사 전력연구원

임 한 석
건국대학교 전기공학과

Performance Analysis of the Mid-Level Communication Network for DCS in NPP

Sung Woo Lee
KEPRI.

Han Suck Yim
Kon-Kuk University

Abstract - In this paper, a highly reliable communication network for DCS (Distributed Control System) in nuclear power plant is designed. The structure and characteristics of DCS in nuclear power plant is briefly explained. The features needed for a communication network for DCS in nuclear power plant is described. According to the above features, a layer structure for the communication network is determined and each layer is designed in detail. Accuracy of the model was evaluated by computer simulation.

가장 중요한 것은 긴급한 상황에서 발생하는 데이터를 최대한 빨리 전송하는 것이다. 또한 중위계층 통신망은 주기적으로 반복되는 데이터를 잘 처리해야 한다. 마지막으로 중위 계층 통신망은 사용가능성이 있는 고급 서비스를 제공할 필요가 있다. 즉 본 논문에서 제시하는 분산 제어 시스템의 중위계층 통신망이 가져야 할 설계 요건에 대해 정리하면 다음과 같다.

- 긴급한 데이터의 실시간 전송
 - 주기적 데이터의 효율적 처리
 - 다양한 고급 서비스의 제공
 - 통신망을 이용하는 모든 계통 또는 기능들 중에서 가장 제한된 요건 (전송속도, 정밀도, 응답시간)을 만족하도록 설계되어야 한다.
 - 전송방법, 다중성의 정도, 통신망 분할, 허용부하, 자료특성에 대한 근거 및 지침이 마련되어야 한다.
 - 통신망의 구조는 보수 및 시험이 용이하도록 설계되어야 한다.
 - 안전된 정상운전을 할 수 없는 조건으로 인하여 가동률 감소를 초래할 수 있는 MMIS(Man Machine Interface System) 장비의 MTBF(Mean Time Between Failure)는 5년 이상이어야 한다.
 - 전송 비트 에러는 1×10^{-10} 이하가 되도록 설계되어야 한다.
- 원자력 발전소에 사용되는 분산 제어 시스템의 중위계층 통신망은 위의 요건을 만족시킬 수 있어야 한다.

1. 서 론

원전의 안전성 및 효율적인 관리를 위한 정보체계의 구성은 발전소의 국부적인 범위를 넘어 여러 원전의 통합적인 운영 방법이 중요하다. 그러나 운전되고 있는 대부분의 원자력 발전소에서는 점대점 방식으로 데이터를 취하여 아날로그 방식으로 연산을 수행하여 발전소를 제어하는 오래된 방식을 사용하므로 새로운 기능의 추가는 매우 어려운 실정이다. 요즘들어 디지털 기술이 발전함에 따라 원자력 발전소 감시 및 성능을 향상시키고 발전소를 운용함에 있어서 유용한 고급 기능들을 수행하기 위해 디지털 기술의 핵심인 통신망의 설계는 매우 중요하다.

본 논문에서는 원자력 발전소에서 가장 중요한 안전성과 신뢰성에 대한 통신망의 요구 사항을 제시하고 그에 따라 설계를 하였으며, [8] 2-1절에서는 분산제어 시스템(DCS)에서 가장 중요한 PCS(Processor Control System) 간의 통신인 중위 계층 통신망에 대해서 설계를 하였다. 중위 계층 통신망은 3계층으로 물리 계층, 데이터 링크 계층, 응용 계층으로 나누어지며 이 중에서 데이터링크 계층에서 MAC(Medium Access Control)는 데이터의 실제적인 전송을 담당하는 부분이므로 3계층 중에서 중요한 역할을 담당한다고 볼 수 있다.

2-2절에서는 이 부분에 대해서 제공되는 부하에 따라 Class 별로 서로 다른 Timer를 두어서 Network이 원활한 동작을 할 수 있도록 Optimal Solution 찾는 방법을 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 하였다.

2. 본 론

이 절에서는 원자력 발전소 분산 제어 시스템의 전체적 구조 및 특성에 대해 살펴보고 분산 제어 시스템을 위한 통신망의 요건을 제시하고 설계를 하였으며 시뮬레이션을 통해 IEEE 802.4 통신 매체에 대해 성능 분석하였다.

중위계층 통신망은 여러 개의 단위 분산 제어 시스템을 연결하는데 사용된다고 할 수 있다. 이렇게 연결된 시스템들은 하나의 제어와 감시등의 기능을 수행하는 그룹을 형성하게 된다. 이러한 경우 중위계층 통신망에서

2-1. 통신망의 설계

원자력 발전소 분산 제어 시스템을 위한 통신망을 설계한다. 이 통신망을 PICNET-NP (Plant I&C Network - Nuclear Power Plant)라고 칭한다. 또한 통신망 구조설계는 계통간의 실제적인 하드웨어를 연결하여 전체적으로 통신망을 구성하는 설계 단계로서, Data Flow 분석과 통신모델의 작성 등을 통하여 획득된 정보를 이용하여 각 계통을 기능적으로 그룹핑하고 기능요건에 맞게 선정된 토폴로지, 프로토콜, 통신매체 및 상호접속장치를 기술을 이용하여 망의 분할 및 연결 작업을 수행한다. 구조설계의 절차는 먼저 각 계통의 기능과 요건을 고려하여 계통을 그룹핑하고, 전체적인 통신망 요건과 선정된 통신망 기술을 이용하여 그룹별 하부망을 설계한 후, 이들을 망간 접속기술 및 연계요건에 따라 모두 접속하여 전체망의 구조를 작성하는 순서로 수행한다.

본 논문에서는 OSI 7계층 중 3계층(물리 계층, 데이터 링크, 응용 계층)을 사용하여 계층 구조를 단순함으로써 실 시간성을 확보할 수 있고, 안전성과 신뢰성을 보장할 수 있다.

2-1-1. 물리 계층

PICNET-NP의 물리 계층은 IEEE 802.3 방식(2)을 채택한다. 그러나 뒤에서 설명하겠지만 데이터 링크 계층의 MAC 부계층은 IEEE 802.4 토큰 버스 방식

[3]을 채택한다. 따라서, MAC 부계층과 물리 계층 사이의 서비스가 IEEE 802.4와 IEEE 802.3 방식을 각각 만족시켜야 한다. 따라서, PICNET-NP의 물리적 신호 방식은 IEEE 802.3의 방식을 그대로 따른다. 한편, IEEE 802.4 방식의 MAC 부계층-물리 계층 접속 서비스 규격을 만족해야 하므로, PICNET-NP의 PLS 부계층은 IEEE 802.3 표준의 PLS 부계층 접속 서비스를 IEEE 802.4 표준의 MAC 부계층-물리 계층 접속 서비스로 변환하는 기능을 담당한다. 즉, PICNET-NP의 물리 계층은 IEEE 802.3 표준의 물리 계층에 PLS 부계층 접속 서비스 변환 기능을 추가한 것이다. 그림 1는 IEEE 802 계열의 LAN의 구조로 물리 계층과 인접 계층과의 서비스 관계를 나타낸 것이다.

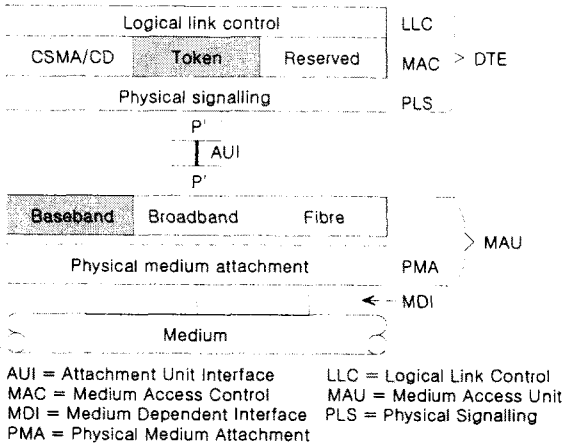


그림 1 : IEEE 802 계열의 LAN의 구조

PICNET-NP의 물리 계층은 여러 가지 특성을 가진다. 그것들을 간략히 나열하면 다음과 같다.

- 1) 생산성, 시험성, 안전성 및 신뢰성 : 고 신뢰성과 실시간성을 충족시키는 통신 방식으로서 토큰 전달 방식이 사용되었다.
- 2) 다양한 제품군의 지원 : 한편, 보편적인 기술로 널리 사용되고 있는 IEEE 802.3 기술 혹은 Ethernet 기술은 그 시장의 확대로 말미암아 다양하고 폭넓은 제품의 선택이 가능하다.
- 3) 기존의 통신망 활용 가능 : 기존에 IEEE 802.3용 통신망이 설치되어 있다면 이들을 그대로 이용할 수 있다.
- 4) 적절한 통신 속도 : 간의 연구 결과에 의해 적당하다고 판단되는 속도를 만족하도록 하였다.
- 5) 산업용으로도 적합한 전기적 규격 : IEEE 802.3 방식의 물리 계층은 산업용으로 사용되고 있는 통신망 시스템의 각종 전기적 규격에 미달되지 않는다.

2-1-2. 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층은 매체 접속 제어 부계층 (medium access control sublayer)과 링크 제어 부계층 (link control sublayer)을 사용하고 있다. 매체 접속 제어 부계층은 IEEE 802.4 토큰 버스 규약[3] 표준을 따르도록 설계되었고 링크 제어 부계층은 IEEE 802.2 논리 링크 제어 (logical link control) 규약[4] 표준에 자체적으로 주기 서비스를 할 수 있도록 하는 부분을 추가하여 설계되었다.

IEEE 802.4 토큰 버스 방식의 네트워크에서 토큰은 제어 프레임이나, 통신매체를 받아들일 수 있는 권한을 조절하는 패킷을 의미한다. 즉, 토큰을 소유한 네트워크상의 노드만이 통신매체를 사용할 수 있는 권한이 있다. 그러기 위해서 네트워크상의 노드들은 물리적으로 버스를

통해 연결되어 있으며, 논리적으로는 로지컬 링을 형성하여 토큰을 다음 노드에 전달 한다. 토큰의 전달 과정이 논리적인 링을 통해 이루어지기 때문에 물리적인 순서는 논리적인 토큰 전달 순서와는 무관하다. 따라서 매체 접속 제어 부계층에서 토큰 버스 규약을 채택한 것은 이벤트성의 트래픽 전송을 효율적으로 하기 위한 것이다. IEEE 802.4 토큰버스 프로토콜은 불규칙적으로 발생하는 메시지의 양이 적은 평소에는 스테이션들 사이에 토큰을 전달하기 위한 오버헤드가 있기 때문에 프리런 타임 스케줄링 기법보다는 효율이 다소 떨어지지만 일시에 많은 양의 트래픽이 발생한 경우에는 비교적 신속히 처리할 수 있다.

2-1-3. 응용 계층

PICNET-NP는 계층구조로 이루어진 통신망으로 케이블과 같은 통신 매체와 통신 보드로 이루어지는 물리 계층, 모뎀 혹은 트랜시버로 이루어지며 물리계층의 통신매체에 대한 제어와 링크 제어 그리고 오류발견과 복구를 하는 데이터링크 계층 그리고 응용프로그램에 다양한 통신 서비스를 제공하는 응용계층으로 이루어진다. 그림 2는 PICNET-NP의 개념도를 나타낸 것이다.

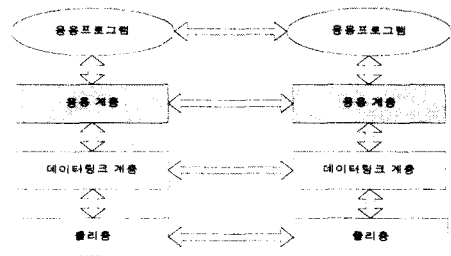


그림 2 : 계층 구조에서의 응용 계층

PICNET-NP 응용계층은 통신망의 기능을 이용하려는 응용 프로그램을 구현할 때 제한 기능을 제공한다. 일종의 통신 서비스 라이브러리가 된다. 하지만 내부에 우선순위 관리자, 큐 관리자 등을 포함하기 때문에 단순한 라이브러리라고 할 수는 없다. 단지 응용 프로그램의 관점에서 보았을 때는 일반 라이브러리처럼 사용하면 된다. 응용 계층의 설계 및 구현시에는 기본적으로 고려해야 할 약속이 있다.

그림 2에서 화살표를 사이에 두고 대응하는 두 개의 계층 혹은 개체들 사이에는 일정한 약속이 있어야 한다. 응용 계층에서는 응용프로그램과 응용 계층사이에 지켜져야 할 약속이 있으며, 응용 계층과 데이터링크 계층 사이에 지켜져야 할 약속이 있다. 이 두 가지 약속은 하나의 통신 노드에서 지켜져야 한다. 그리고 응용 계층과 통신상의 상대편 응용 계층 사이에도 일정한 약속이 지켜져야만 통신이 이루어진다. 이 부분은 응용 계층사에서 주고받는 프로토콜 데이터 유닛과 서비스 메커니즘에 의해서 이루어진다.

2-1-4. 하드웨어

PICNET-NP의 하드웨어는 크게 호스트 프로세서부와 통신망 접속부로 구분될 수 있다. 여기서 호스트 프로세서부는 사용자 프로그램이 실행되거나 혹은 사용자 프로그램이 실행될 수 있는 환경을 제공해 주는 부분이며 통신망 접속부를 제어하게 된다. 통신망 접속부는 VME 버스를 통해서 전송될 데이터를 수신된 데이터를 호스트 프로세서부와 주고받게 된다. 통신망 접속부에 대한 설명은 물리 계층에서 이미 하였으므로 여기에서는 호스트 프로세서부에 대해서 다룬다. 그림 3는 PICNET-NP 하드웨어의 블록도이고, VME 버스 인터페이스를 지원한다.

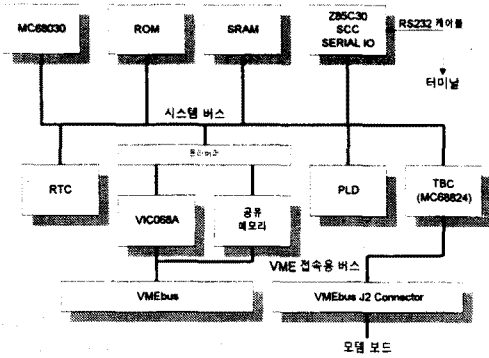


그림3 : PICNET-NP 하드웨어의 호스트

급에 정해진 Target Rotation Time 때문이다. 기다리는 시간이 타겟 로테이션 타임 보다 커지면 서비스를 중단하고 토큰을 다음 Class(혹은 스테이션)로 넘기므로 기다리는 시간은 일정한 값으로 수렴하게 된다.

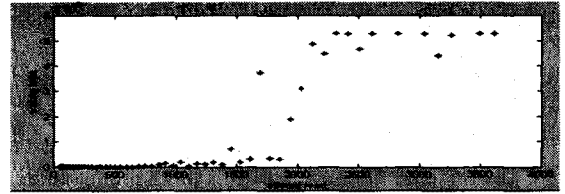


그림 5 : 부하에 따른 전체 기다리는 시간

그림 6에서는 최고 우선 순위에 대한 서비스 타임이 계속 증가하고 있는 듯이 보이는데 이는 앞에서 설명했듯이 최고 우선 순위 등급의 이용률은 증가하지만 상대적으로 다른 하위 등급의 이용률 증가에 비해 매우 작다는 것을 설명해 준다.

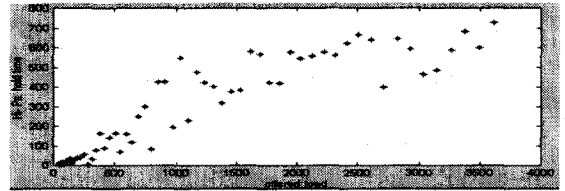


그림 6 : 부하에 따른 최상위 서비스 시간

2-2. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션에서 변수로 사용한 부하는 네트워크에 들어오는 서비스 요구를 의미한다. 서비스 요구가 커지면 네트워크의 전체 이용률은 증가하게 되고 계속 부하가 증가한다면, 네트워크는 서비스 포화 상태로 된다. 이러한 이유에서 부하에 대한 네트워크의 데이터 처리 능력과 서비스 타임의 변화를 시뮬레이션을 통해서 살펴보기로 하자. 또한 시뮬레이션을 통해서 IEEE 802.4 토큰 버스 LAN의 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 Target Rotation Time 값을 지정하는 방법을 알 수 있었다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값은 다음과 같다.

N (number of nodes) : 60

T_S (각 노드의 hi_pri_token_hold_time): 1500

$T_R(4)$ (class4의 target_rotation_time): 5300000

$T_R(2)$ (class2의 target_rotation_time): 4400000

$T_R(0)$ (class0의 target_rotation_time): 3600000

T_i (2개의 스테이션 사이에서의 mean_token_passing_time) : 200

위에서 시간을 나타내는 수치는 비트타임을 나타낸다. 그림 4는 전체 네트워크의 데이터 처리능력과 제공되는 부하의 관계를 보여준다. 전체 네트워크의 처리능력은 각 스테이션의 각각 등급의 처리능력의 합이다. 그런데 각각 등급의 처리능력은 각각 등급의 이용률에 의존한다. 일반적으로 이용률은 제공되는 부하의 크기에 비례한다. 통신 매체에 추가되는 메시지의 크기가 상대적으로 Overhead에 비해 커지기 때문이다.

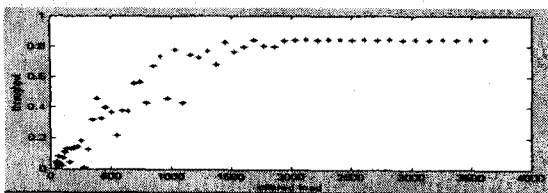


그림 4 : 부하에 따른 전체 데이터 처리 능력

그림 5는 어떤 하나의 노드가 토큰을 넘겨주고 다시 받을 때까지 기다리는 시간과 제공되는 부하와의 관계를 보여준다. 부하가 증가하면 이용률이 커지므로 한 노드에서 토큰을 가지고 있는 시간이 길어지며 따라서 기다리는 시간은 증가하게 된다. 그림에서는 특정 값으로 포화되는 것을 보여 주는데 이것은 각 스테이션 각각의 등

3. 결 론

본 논문에서는 원자력 발전소 분산 제어 시스템에 적용할 통신망을 설계하였다. 원자력 발전소 분산 제어 시스템을 위한 통신망이 갖추어야 할 요건을 제시하고 이에 따라 통신망의 계층 구조 및 각 계층을 설계하였다.

원자력 발전소라는 응용 분야는 안전성 및 신뢰성이 아주 크게 요구되는 분야이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 IEEE 802.4 토큰 버스라는 통신 매체를 채택하고, 시뮬레이션을 통해 제공되는 부하에 따라 네트워크의 데이터 처리 능력과 서비스 타임의 변화를 알아봄으로써 최적의 해를 찾아 Target Rotation Time 값을 지정함으로써 원전 중위 계층 통신망 설계에 대한 건전성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] G. G. Preckshot, Data Communications, NUREG/CR-60S2, Lawrence Livermore National Lab., 1993.
- [2] ANSI/IEEE 802.3 CSMA/CD Access Method, 1987.
- [3] ANSI/IEEE 802.4, Token-Passing Bus Access Method, 1987.
- [4] ISO/IEC 8802-2, Information technology Telecommunications and information exchange be systems - Local and metropolitan area networks - S requirements - Part 2: Logical Link Control, 1994.
- [5] Fred Halsall, Data Communications, Computer N and OSI, pp.97-267, Addison-Wesley, 1996.
- [6] Anura P.J. Jayasumana, "Throughput Analysis of the IEEE 802.4 Priority Scheme", IEEE Transactions on Communications, VOL. 37, NO. 6, pp 565-571, June 1989.
- [7] M.A Colvin, A.C. Weaver, "Performance of single access classes on the IEEE 802.4 token-bus", IEEE Trans. on Commun., vol. 36, pp 224-225, Feb. 1988.
- [8] 전력 연구원, "원전 DCS 설계기준서 개발", 1997