

BACnet MS/TP 프로토콜의 실험적 성능해석 방법에 관한 연구

박태진*
대덕대학*

A Study on the Methodology of Experimental Performance Evaluation of BACnet MS/TP Protocol

Taejin Park*
Daeduk University*

Abstract - 네트워크 기반 제어시스템에서 상위 제어시스템의 성능은 하부 네트워크 시스템의 성능에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 따라서 네트워크 기반 빌딩자동제어 시스템 역시 하부 네트워크 시스템의 동작 및 성능에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 본 연구에서는 빌딩자동제어 시스템을 위한 데이터 통신 프로토콜로 개발되었으며, ISO에 의해 국제 표준 규격으로 제정된 BACnet의 하부 데이터링크 계층 프로토콜 중 필드 레벨 네트워크 프로토콜로 가장 많이 적용되고 있는 BACnet MS/TP 프로토콜 기반 네트워크 시스템의 성능을 실험적으로 해석하는 방법에 대해 소개한다.

1. 서 론

1980년대 이후 디지털 기술과 IT기술 및 통신 기술의 발전에 힘입어 많은 산업 현장에서 네트워크 기반 제어시스템의 적용이 빠르게 진행되어 왔다. 뛰어난 가격대비 성능과 경제성 및 효율성을 고려해 볼 때 필드 버스 및 네트워크 기반 제어시스템을 적용하여야만 하는가에 대한 논의가 더 이상 무의미하게 느껴질 만큼 네트워크 기반 제어시스템은 모든 산업분야에 걸쳐 일반화되었다고 해도 과언이 아닐 것이다. 중앙집중식 제어시스템과 달리 네트워크 기반 제어시스템에서 모든 정보는 네트워크 시스템에 연결된 장치 간에 서로 주고받는 메시지에 의해 전달된다. 따라서 네트워크 기반 제어시스템에서 상위 제어시스템의 성능은 하부 네트워크 시스템의 성능에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 따라서 상위 제어시스템의 성능을 안정적으로 유지하기 위해서는 하부 네트워크 시스템의 성능을 분석하여 안정적으로 유지할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 실험모델을 이용해 BACnet[1]의 하부 데이터링크 계층 프로토콜 중 하나인 MS/TP(Master-Slave/Token Passing) 프로토콜 기반의 네트워크 시스템의 성능을 실험적으로 분석하는 방법에 대해 소개하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 성능해석 방법들이 국내 BACnet 원천기술의 보급과 확산에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 본 론

2.1 BACnet

BACnet(Building Automation and Control Network)은 빌딩 자동화 및 제어 시스템 간의 데이터 통신을 위해 개발된 표준 통신망 프로토콜로서, 미국 냉동공조학회인 ASHRAE 산하 SSPC-135에서 제정하여 1995년 ANSI /ASHRAE 표준[1]으로 등록되었으며, 1999년에는 KS X 6909 한국 표준 산업규격[3]으로 채택되었다. 또한 2003년에는 국제 표준화 기구인 ISO에서 제정한 빌딩 자동제어 시스템에 대한 표준 규격인 ISO 16484 중 Part 5 빌딩 자동화 및 제어에 관한 데이터 통신 프로토콜[2]의 국제 표준으로 채택되었다. BACnet은 물리계층, 데이터링크계층, 네트워크계층 및 응용계층의 4계층 구조를 지닌다. BACnet 응용계층에서는 서로 다른 네트워크 장비간의 상호운용성을 보장하기 위하여 빌딩 자동화 설비들 간에 교환되어야 할 다양한 정보들을 객체(Object)와 프로퍼티(Property)들로 표현하며, 이러한 객체와 프로퍼티들로 표현되는 정보들을 처리하기 위해 요구되는 다양한 기능들을 응용 계층 서비스로 정의하고 있다. BACnet과 MS/TP 프로토콜의 특징과 세부 내용은 [1-8]을 통해 확인할 수 있다.

2.2 네트워크 시스템의 성능해석 방법

일반적으로 네트워크 시스템의 성능을 분석하는 방법에는 크게 수학적 모델을 이용하는 방법과 시뮬레이션 모델을 이용하는 방법 및 실험 모델을 이용하는 방법이 적용된다.

2.2.1 수학적 모델을 이용한 성능해석

수학적 모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석 방법은 보통 큐잉 이론과 확률을 이용한다. 이 방법은 수학적 확률계산을 통해 네트워크 성능을 분석하므로 모델을 개발하기 위한 비용 부담이 크지 않아 가장 경제적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 네트워크 시스템에서 시시각각 변화하는 메시지의 시간지연을 수학적으로 모델링하기가 매우 어렵기 때문에 수학적 모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석에는 한계가

따를 수밖에 없다. 따라서 이 방법은 주로 네트워크 시스템의 대략적인 성능을 예측하기 위해 사용되거나 순수 연구목적으로 활용된다.

2.2.2 시뮬레이션 모델을 이용한 성능해석

시뮬레이션 모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석 방법은 시뮬레이션 툴을 이용해 개발된 가상의 모델을 이용해 네트워크 시스템의 성능을 분석할 수 있기 때문에 수학적 모델을 이용하는 방법에 비해 보다 실증적인 결과를 도출할 수 있다. 또한 실제 실험모델을 개발하지 않고도 시스템의 성능을 어느 정도 미리 예측할 수 있으며 가상의 모델을 통해 다양한 시스템 구성에 대해 분석할 수 있어 매우 유용하게 활용될 수 있다. 그러나 이 방법 역시 가상의 모델을 적용하기 때문에 모델링 오차가 발생할 수밖에 없으며 실제 시스템에 적용되어 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 시뮬레이션 모델을 이용한 성능해석 방법은 일반적으로 네트워크 시스템의 설계 및 설치 전에 오프라인 상에서 시스템의 성능을 미리 예측하여 분석하기 위해 주로 사용된다.

2.2.3 실험 모델을 이용한 성능해석

실험 모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석 방법은 실제 실험모델을 구축하고 온라인상에서 시스템의 성능을 분석하기 때문에 가장 실증적인 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 실험 모델을 개발하기에 많은 시간과 비용이 소요되기에 주로 시스템 개발업체에서 시스템 구현과 기능검증 및 성능향상 등의 목적으로 활용된다. 그러나 일단 실험모델을 구축하게 되면 다양한 시스템 동작에 대해 실제 실험을 통해 실증적인 결과를 도출할 수 있어 네트워크 시스템의 성능을 분석하는 가장 유용한 방법이라 할 수 있다.

2.3 실험모델을 통한 성능해석 방법

본 연구에서는 [5],[6],[7],[8] 등의 선행 연구 결과를 참고하여 실험모델을 개발하였으며 이를 이용해 실험적으로 네트워크 시스템의 성능을 분석하는 방법들에 대해 소개한다.

2.3.1 BACnet MS/TP 프로토콜의 구현

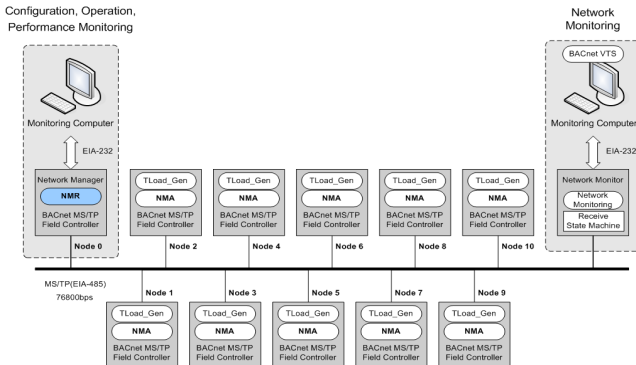
실험모델을 통해 네트워크 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 네트워크 프로토콜의 내부에 모니터링 기능을 추가하여야 한다. 그러나 [12], [13]과 같은 상용 프로토콜 스택은 라이브러리 형태로 제공되기 때문에 그 내부의 기능을 수정하거나 추가하기가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 [7]에서 제안한 방식으로 BACnet MS/TP 프로토콜을 구현하여 적용하였다.

2.3.2 네트워크 시스템 실험 모델 구축

실험모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석 방법은 네트워크 시스템의 구축 방식과 실험 방식에 따라 그 결과가 달라질 수 있다. 예를 들어 [5]와 [6]은 BACnet 실험모델을 이용하여 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 성능과 이를 이용한 실내 조명제어 시스템의 성능에 대한 실험적 분석결과를 제시하고 있다. 그러나 이 경우 시스템의 성능을 관측하기 위한 별도의 모니터링 시스템이 필요하므로 실제 빌딩 자동제어 시스템에 적용하기에는 그 실효성에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 [8]에서 제안한 NMS 모델을 적용하여 그림 1과 같이 실험모델을 구성하였다.

2.3.3 모니터링 시스템

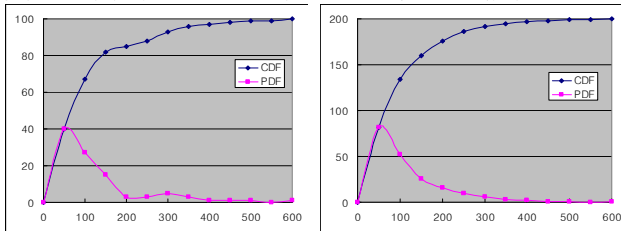
본 실험모델에서는 그림 1에 보이는 바와 같이 네트워크 모니터링 시스템과 성능 모니터링 시스템을 분리하여 적용하였다. 네트워크 모니터링 시스템은 BACnet MS/TP 통신에 참여하지는 않지만 네트워크상에 발생하는 모든 MS/TP 프레임을 청취(Listen)하여 분석한다. 네트워크 모니터링 시스템에 대한 자세한 내용은 [9]를 통해 확인할 수 있다. 성능 모니터링 시스템은 [8]에서 제시한 네트워크 관리자(NMR) 노드를 통해 동작하도록 구현하였다. 성능 모니터링 시스템은 네트워크 성능 분석 기능 외에 본 실험에서 필요로 하는 설정기능(Configuration)과 운용기능(Operation)도 제공한다. 본 실험 모델에서는 시간동기화와 실시간성을 고려하여 모니터링 시스템에 별도의 모니터링 노드들을 적용하였다.



〈그림 1〉 실험모델 구축

2.3.4 트래픽 로드 제너레이터

네트워크 기반 제어시스템에서 네트워크 트래픽은 응용 프로그램의 동작에 의해 시시각각 변하게 된다. 따라서 동일한 시스템 구성이라도 응용 프로그램의 동작과 스케줄, 사용자 명령, 알람/이벤트 등에 의해 네트워크 시스템의 성능이 달라질 수 있다. 이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 각 필드제어기의 응용 태스크로 트래픽 로드 제너레이터 (TLoad_Gen)를 탑재하여 임의의 네트워크 트래픽을 발생시킬 수 있게 하였다. 네트워크 시스템에서 주기적 메시지는 균일분포를 띄고 비주기적 메시지는 지수분포를 띤다. 메시지의 발생빈도에 따라 달라질 수 있지만, 대략적으로 주기적 메시지와 비주기적 메시지가 유사한 발생 빈도를 가지고 발생한다고 가정할 경우 메시지의 확률분포는 지수분포와 유사한 형태를 갖게 된다. 본 실험에서는 [10]에서 제시하는 Minimal Standard Random Number Generator 알고리즘과 [11]에서 제시한 Bays와 Durham의 shuffling 알고리즘을 이용하여 지수분포를 갖는 트래픽 로드 제너레이터를 적용하였다. 다음 그림 2는 이를 이용한 지수분포를 갖는 메시지 발생의 실험결과를 보여준다. X축은 발생된 난수 값의 범위를 의미하며, Y축은 발생 횟수를 의미한다. 그림에서 보이는 바와 같이 200번 이상 발생 횟수가 증가할수록 평균값 100을 기준으로 보다 안정적인 형태의 지수분포로 난수가 발생됨을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 지수 분포를 갖는 난수 발생 실험 결과 (평균값 = 100)

2.3.5 성능 인자(Performance Index)

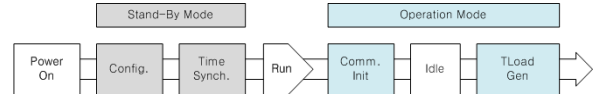
본 실험에서는 네트워크 시스템의 성능인자로 [5-8]에서 제시한 트래픽 로드(G)를 적용하였다. 각 노드의 응용 계층에 탑재된 트래픽 로드 제너레이터에 의해 발생하는 네트워크 트래픽을 각 노드의 네트워크 관리 에이전트(NMA)를 통해 분석하고, 네트워크 관리자(NMR)를 통해 전체 네트워크 트래픽을 취합하여 분석함으로써 네트워크 시스템의 성능을 분석한다. 트래픽 로드(G) 및 네트워크 관리시스템(NMS)에 대한 자세한 내용은 [8]을 통해 확인할 수 있다.

2.3.6 유의하여야 할 사항들

본 연구에서 제안하는 실험모델을 이용한 네트워크 성능해석 방법은 다음과 같은 전제조건과 유의사항들을 고려하였다.

(1) 항상 동일한 방법으로 실험이 진행될 수 있어야 한다.

실험모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능분석 시 가장 중요한 점은 항상 실험이 동일한 방법으로 진행되어야 한다는 점이다. 따라서 본 연구에서는 다음 그림 3과 같은 시스템 설정 및 동작 방식을 통해 항상 동일한 방법으로 실험이 진행될 수 있도록 하였다. 전체 시스템은 대기 모드(Stand-By Mode)와 동작 모드(Operation Mode)로 운용된다. 최초 전원이 인가되면 시스템 내 모든 장비들은 대기모드에서 실험 설정(Configuration)과 시간동기화(Time Synchron.)를 기다린다. 성능 모니터링 컴퓨터에서 작성된 설정 정보는 모니터링 노드를 통해 네트워크상의 모든 노드들에 브로드캐스트된다. 실행(Run) 명령이 수신되면 모든 노드들은 동작모드로 전환되어 MS/TP 통신을 개통하고 네트워크 시스템이 안정화되기까지 일정시간 휴지(Idle)한다. 이때 휴지기간은 실험 설정(Configuration)을 통해 일정하게 적용할 수 있도록 하였다. 휴지기간이 종료되면 각 노드에 설정된 트래픽 조건에 따라 트래픽 로드 제너레이터가 동작함으로써 실험 조건이 변경되더라도 항상 동일한 방식으로 실험이 진행될 수 있도록 하였다.



〈그림 3〉 실험을 위한 시스템 동작 방식

(2) msec 단위 타이머와 시간동기화가 보장되어야 한다.

본 연구에서 제시하는 실험 방법은 기본적으로 msec 단위의 시간 측정을 전제로 하였다. 따라서 네트워크상의 모든 노드들은 msec 단위의 시간 동기화를 보장할 수 있어야 한다. 실험이 실행되기 전 대기 모드에서 NMR 노드를 통해 시간동기화 메시지를 브로드캐스트 함으로써 모든 노드들이 동일한 시간에서 시작하도록 하였다. 실제 시스템에서는 BACnet의 시간동기화 메커니즘 또는 IEEE 1588에서 제시하는 시간동기화 메커니즘을 적용할 수 있다.

(3) 부동 소수점 연산이 지원되어야 한다.

본 연구에서 제안하는 성능인자는 단위 시간당 발생하는 메시지의 비트 수를 계산하는 개념이다. 따라서 메시지가 발생될 때마다 NMA 개체를 통해 자체 트래픽 로드를 계산하기 위해서는 부동 소수점 연산이 지원되어야 한다.

(4) 추가 기능에 의한 부작용을 확인할 수 있어야 한다.

[8]에서 제시하는 네트워크 관리시스템(NMS)은 부수적인 네트워크 트래픽을 발생시킨다. 이러한 네트워크 모니터링 메시지는 매 주기마다 발생되므로 균일분포를 갖는다. 따라서 이로 인한 부수적인 트래픽 상승은 수식으로 계산되어 미리 예측이 가능하다.

2.3.7 실험 결과분석 방법

일반적으로 실험에 의한 성능분석 방법에서는 실험계획법(DOE)이 적용되며 동일한 조건에서 동일한 방법을 통해 실험을 진행하더라도 그 결과가 차이가 발생할 수 있다. 네트워크 시스템의 성능해석은 주로 소요시간과 시간간격에 대한 측정으로 이루어지며 일정 기간동안 측정된 실험결과 중 평균값과 최대값으로 성능을 분석하게 된다.

3. 결 론

본 연구에서는 실험모델을 이용한 BACnet MS/TP 네트워크 시스템의 실험적 성능해석 방법과 전제조건 및 유의사항 등에 대해 소개하였다. 실험모델을 이용한 네트워크 시스템의 성능해석 방법은 개발하기까지 많은 시간과 비용이 소요되지만 네트워크 시스템에 대한 가장 실증적인 성능해석이 가능하며, 시시각각 변화하는 네트워크 시스템의 성능을 실시간으로 예측할 수 있다는 장점이 있다. 또한 실제 시스템에 적용함으로써 전체 시스템의 안정적인 동작을 위한 성능해석 뿐만 아니라 기능검증 및 성능개선 등 다양한 분야에 활용할 수 있다. 본 연구에서 제안한 실험 방법들이 국내 BACnet 기반 빌딩자동제어 시스템 원천기술의 보급과 확산에 기여할 수 있기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 135-2008, "BACnet: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks", ASHRAE, Atlanta, GA, 2008.
- [2] ISO 16484-5, Building Automation and Control Systems-Part 5. Data Communication Protocol, ISO, Washington, DC, 2003.
- [3] KS X 6909, 빌딩 자동화 및 제어 통신망, 한국표준협회, 1999.
- [4] W. S. Song, S. H. Hong and S. Bushby, "NISTIR 7038: A Simulation Analysis of the BACnet LANs", NIST, August, 2003.
- [5] Taejin Park, Won Seok Song and Seung Ho Hong "Experimental Performance Evaluation of BACnet MS/TP Protocol", IJCAS, Vol. 7, No. 5, pp. 584-593, Oct./2007.
- [6] Tae-Jin Park, Seung Ho Hong, "Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System", IEEE Trans. On Automation Science and Engineering, Vol. 6, No. 2, Apr./2009
- [7] 박태진, 홍승호, "BACnet MS/TP 필드제어기 프로토타입 및 MS/TP 네트워크 감시 장치의 설계 및 구현", 전기학회논문지 제56D권, 제4호, pp. 799-808, 2007년 4월
- [8] 박태진, "BACnet을 위한 네트워크 관리시스템의 설계 및 구현", 전기학회논문지, 58권, 11호, p.2253-2260, 2009년 11월
- [9] US Patent 20090006611, "Communication Network Analysis System in Multi-Layered Communication System", Jan./2009
- [10] WH Press, SA Teukolsky, WT Vetterling, BP Flannery, "Numerical Recipes in C++, 2nd ed", Cambridge Univ. Press, 2003
- [11] DE Knuth, "Seminumerical Algorithms, 3rd ed., vol.2, The Art of Computer Programming", Addison-Wesley, 1997
- [12] BACstack, <http://www.cimetrics.com/index.php/product-solutions.html>
- [13] BACdoor, http://www.polarsoft.biz/bacdoor_client.html