

산업용 네트워크기반 통신 프로세서의 트래픽 처리 성능 분석

윤미희*, 박영**, 김동원**

*충북도립대학 컴퓨터정보과

**교신저자, 충북도립대학 전자정보계열

e-mail:won@cpu.ac.kr

Performance Analysis of Communication Processor Based on Industrial Network

Mihee Yoon*, Young Park*, Dongwon Kim**

*Dept of Computer Science, Chungbuk Provincial University

**Dept of Electronics Information, Chungbuk Provincial University

요 약

스마트 자동차, 선박 및 공장 자동화와 같은 산업 분야에서 이더넷 기반 산업 네트워크의 연구가 추진되고 있다. IEEE802.1AVB와 같은 실시간 이더넷 프로토콜을 살펴보고 산업용 스위치드 이더넷 기반 통신 프로세서에서 우선 순위 트래픽을 처리하는 큐 모델링과 성능 분석을 수행한다.

1. 서론

생산 자동화 설비를 구축함에 있어서 산업용 생산 기기의 상호 연동을 위한 정보교환이 중요시 되고, 이를 위한 Profibus, WorldFIP, Foundation Fieldbus 등과 같은 산업용 필드버스 프로토콜이 제안되어 사용되어 왔다. 반면 산업용 필드버스와 대응되는 요구 사항을 가지는 업무용 기기의 상호 연동을 위한 근거리 통신망은 이더넷 기반으로 통일되다 시피 널리 사용되고 있다. 이렇듯 이더넷은 널리 보급된 기술과 여러 가지 장점으로 업무용에는 효과적이거나 랜덤한 전송 지연시간과 불공정성, 지터 문제 등 산업용의 엄격한 품질 제약성으로 인해 산업용으로 활용에는 제한이 되어왔다.

최근 이러한 문제를 해결하여 이더넷을 산업용으로 활용하기 위해 충돌이 일어나지 않는 토큰 패싱 기법이나 서버-클라이언트 형태의 폴링 방법을 채택하고 있다. VTPE[1]와 Rether[2]은 토큰 패싱방법을 쓰며, 그림 1은 Rether 기반의 노드 구성과 토큰 패싱을 통해 주기적 사이클 구조에서 실시간 트래픽(RT data)이 대역폭을 보장 받는 모습을 보여주고 있다.

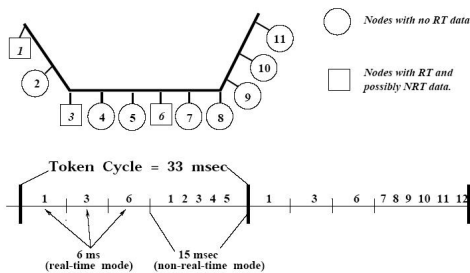


그림 1. RETHER 기반 노드구성 및 사이클 구조

이러한 기존의 제어 네트워크는 최근의 공장 자동화 시스템이나 스마트 차량, 배 등에서 분산제어 시스템 구성으로 수십 Mbps 이상의 멀티미디어 트래픽을 수용하는 요구에 적합하지 않게되었다. 따라서 비교적 큰 대역폭을 실시간으로 제공할 수 있는 능력을 가진 스위칭 이더넷을 적용하게 되었다[3, 4]. 표준 스위치드 이더넷을 실시간 트래픽을 수용할 수 있도록 수정 확장하는 여러 시도가 있었다. 그 중에서도 최근 다양한 미디어 액세스를 사용하고 우선 순위 전략을 수용하는 IEEE802.1AVB [5]가 등장하게 되었다.

2. IEEE 802.1 AVB

IEEE802.1 Audio/Video Bridging (AVB) 표준은 AVB 타스크 그룹에서 규격화 하였고, 802 네트워크를 통해 작은 지연시간의 시간 동기화된 스트리밍 서비스를 가능하도록 여러 가지 메카니즘으로 구성된다. AVB 기본은 IEEE802.1AS 시간 동기화 프로토콜을 사용하는 것이다. 이 프로토콜은 스위치드 이더넷내의 분산되어 있는 노드들이 최대 7홉 상에서 하드웨어 타임 스탬프를 사용하여 1us 이내로 동기화를 시킨다.

AVB는 IEEE802.1Qav에서 시간 민감한 응용위한 큐잉 및 포워딩 룰을 규정하고 있다.

지연시간의 요구조건에 따라 두가지 다른 AVB 클래스가 존재한다. Stream Reservation(SR) class-A는 7홉 상에서 최대 2ms 지연시간을 갖고, class-B는 최대 50ms 지연시간을 갖는다.

AVB 클래스 외에도 기존의 모든 이더넷 프레임은 포함하는 best-effort 클래스가 있다.

그림-1은 credit based shaper(CBS)에 의해 제어되는 AVB 프레임의 전송 선택 알고리즘을 보여준다. AVB 프레임의 전송은 유효한 크레딧의 양이 0 이상일 때 허용된다. 크레딧 웨이퍼는 AVB 대역폭을 제한하거나 폭주를 막기 위해 상하한 경계치를 갖고 있다. AVB 능력을 갖지 못한 노드가 메시지를 전송할 경우에는 이 프레임의 우선순위를 best-effort 트래픽 클래스로 재매핑하여 AVB 트래픽이 항상 우선 순위를 가질 수 있도록 한다. 송수신단 전 경로 상에서 AVB 프레임이 필요한 자원을 확보할 수 있도록 IEEE802.1Qat 시그널링 메커니즘이 규정되어 있다. AVB를 위해서는 총 대역폭의 75%를 넘지 않도록 하고, 나머지는 best-effort 트래픽을 위해 사용된다. AVB는 cross-layer 설계 뿐만 아니라 동기화 미디어 스트림 프레임(IEEE1722), 동기화 RTP over AVB(IEEE1733) 규격을 포함한다.

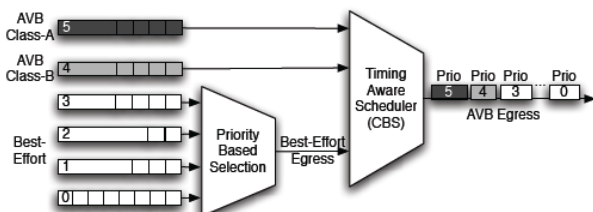


그림 2. IEEE802.1Qav: 전송 선택 알고리즘

3. ECU 트래픽 처리 TASK 성능 모델링

스위치드 이더넷은 선형이나 트리 토폴로지 네트워크를 구성하여 확장성을 가지나 종단간 지연 시간이 길어지는 특성을 가진다. 따라서 본 논문에서는 단일 스위치드 이더넷으로 구성하는 것으로 가정하고 스위치드 이더넷 포트에 연결된 산업용 제어 유니트(통신 프로세서 또는 ECU로 구성 됨)의 트래픽 성능 모델을 살펴보고 트래픽 우선 순위 스케줄링에 관해 고찰한다.

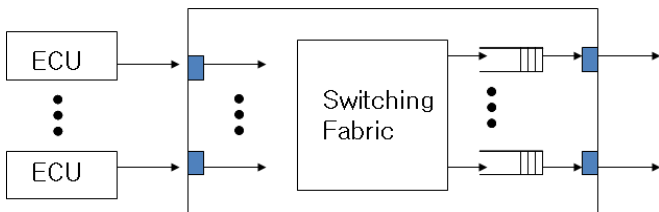


그림 3. 스위치드 이더넷 기반 구성

산업용 제어 유니트는 각종 센서들로부터 입력되는 데이터를 다른 프로세서에게 전해주고, 다른 프로세서들로부터 전달되는 메시지에 따라 필요한 액츄에이터를 구동하기 위해 통신 프로세서로 구성된다. 예를 들어 차량에서는 ECU라 불리우며 자동차의 안전 및 편의 서비스 관련 기

능을 처리한다.

이러한 제어 유니트에서 수행되는 기능을 응용프로그램을 포함하는 펌웨어의 구조를 살펴보면 다음 그림과 같다.

그림 4는 독일과 프랑스에서 수행하고 있는 차량용 분산 제어장치 프로젝트 OSEK/VXD [5]에서 제시하는 ECU 펌웨어 구조이며 ISO 표준을 수용하고 있다.

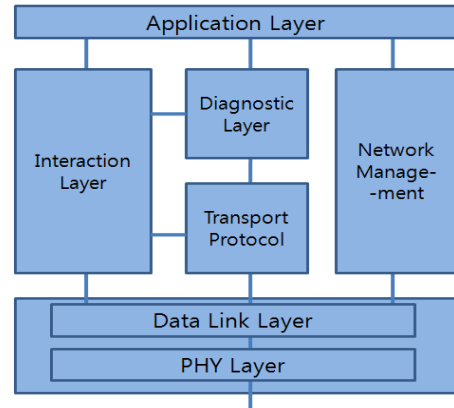


그림 4. OSEK/VXD 표준 펌웨어 구조

Interaction Layer는 소프트웨어 구조 설계시 정의된 메시지 전송 형태의 핸들링을 처리하는 레이어이다. Diagnostic Layer는 자동차에 내장된 각종 진단기능에 대해 인터페이스를 제공하며, exception 처리와 자동차용 CAN bus 관련 진단 요구사항을 처리한다. Transport Protocol은 기본 전송 8byte 보다 더 큰 데이터를 보내기 위한 프로토콜이며, 에러감지, 동기화, 데이터 분할 기능을 가지고 있다. Network Management는 전원 사용의 효율성을 목적으로 하며, Network Wakeup/Active/Sleep에 따라 네트워크를 관리한다. Application Layer는 OSI 참조모델에서 처럼 Layer ECU 별 고유의 응용 기능을 수행하는 프로그램으로 볼 수 있다.

이러한 제어 유니트에서 수행되는 기능은 크게 두가지 형태의 트래픽을 발생시키는 것으로 분류할 수 있고 스위치드 이더넷을 통해 상호 통신하는 것으로 볼 수 있다.

즉, 긴급처리를 필요로하는 높은 순위와 상대적으로 낮은 순위의 트래픽으로 분류할 수 있다. 높은 순위의 트래픽 처리 TASK는 다른 트래픽 처리 TASK들에 의해 nonpreemptive 된다고 가정한다. 하나의 TASK는 다른 TASK가 서비스 되기 전에 완료된다고 가정한다. 따라서, TASK는 어떤 메시지의 도달이나 센서로부터 감지되는 이벤트의 발생으로부터 탄생된다고 할 수 있다.

응용 프로그램의 TASK별 서비스 처리 시간은 프로그램의 스텝 수에 의해 명시적으로 주어진다. 하지만 통신채널을 통해 전송 처리까지를 포함하는 트래픽 처리 모델로 생각하고 두 개의 우선 순위 트래픽을 하나의 서버(CPU 또는 스위치드 이더넷 채널)로 처리하는 큐잉 모델로 해석할 수 있다.

2가지 타입의 TASK는 별도의 큐에 격납된다. Q_1 은 높은 순위 큐, Q_2 는 낮은 순위 큐라 한다. ECU에서 발생하는

이벤트의 율을 λ 라 할 때 λ_1 을 높은 우선순위 메시지의 도착율이라 하고 λ_2 를 낮은 우선순위 메시지를 도착율이라 하고, $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ 이라 하자.

높은 순위 TASK의 평균처리시간(서비스)시간은 m_1 이라 하고, 낮은 순위 TASK의 평균처리(서비스)시간은 m_2 라고 하자.

이벤트의 발생이 포아송 분포라고 가정한다면 이 모델은 two-priority single server M/G/1[6] 큐로 모델링 할 수 있다.

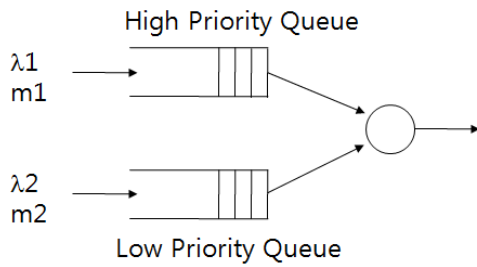


그림 5. Two-priority queueing model

이때 각 TASK의 평균 대기 시간은 다음과 같다.

$$E(W_1) = \frac{E(T_0)}{1 - \rho_1} \quad (1)$$

$$E(W_2) = \frac{E(W_1)}{1 - \rho} \quad (2)$$

여기서 $E(T_0) = \frac{1}{2} [\lambda_1 E(m_1^2) + \lambda_2 E(m_2^2)]$, $\rho_1 = \lambda_1 m_1$,

$\rho_2 = \lambda_2 m_2$, $\rho = \rho_1 + \rho_2$ 의 관계가 성립한다.

$E(m_1^2)$ 과 $E(m_2^2)$ 은 2차 모멘트(즉, 평균의 제곱값과 분산값을 더한 값)이다.

분석을 간단히 하기 위해 $m_1 = m_2 = m$ 라고 하자. 그러면

$$E(m_1^2) = E(m_2^2) = 1.4m^2 \text{ 이된다.}$$

$m = 10\text{ms}$ 이라고 했을 때 그림 6에서 보듯이 처리프로세서 ECU 내부에서도 우선순위를 두어 긴급메시지를 처리하여야 지연시간 요구조건을 만족하여 고품질의 서비스 시스템을 구축할 수 있다.

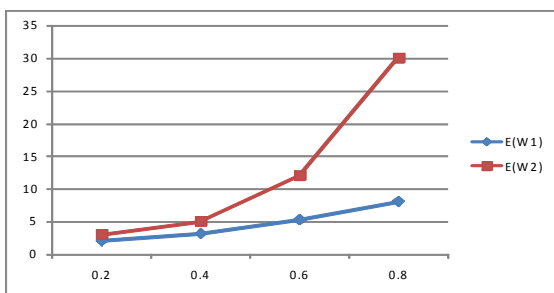


그림 6. 평균 대기 시간

4. 결론

산업용 네트워크의 연구동향을 살펴보고, 대세적으로 적용되고 있는 산업용 동기식 이더넷 통합버스를 사용한 산업용 시스템 및 차량 시스템을 구축하였다. 구축한 시스템의 성능을 예측하기 위하여 네트워크 관점과 처리 프로세서 관점에서 성능 모델링과 분석을 하였다.

산업용 네트워크 운용관리 측면에서, 데이터의 전송 품질을 지연시간 관점에서 본다면 지연에 민감한 트래픽의 우선순위를 높이고 그렇지 않은 트래픽의 우선순위를 낮추는 운용관리 기법을 적용하여야 할 것이다. 또한 처리프로세서 내부에서도 네트워크 정합에 맞추어 우선순위를 두어 긴급메시지를 처리하여야 지연시간 요구조건을 만족하여 고품질의 서비스 시스템을 구축할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] F. Carrerio et al., "Virtual Token-Passing Ethernet-VTPE," 5th Intl. Conference on Fieldbus Systems and their Applications, Jul. 2003
- [2] T.Chieh, "Rether A Software-Only Realtime Ether for PLC network," Proc. of the Embedded Systems Workshop, Mar. 1999.
- [3] E. Vonnahme, S. Ruping, and U. Ruckert, "Measurements in Switched Ethernet Networks Used for Automation Systems," 4th IEEE Int. Workshop on Factory Communication Systems, pp.231-238, Aug., 2000
- [4] L. L. Bello and O. Mirabella, "Analysis and Comparison of Different Interconnection Solutions for Switched Ethernet Networks," 6th IEEE Int. Workshop on Factory Communication Systems, pp.27-35, Aug., 2002.
- [5] Till Steinbach, Hyung-Taek Limy, Franz Korf, Thomas C. Schmidt, Daniel Herrschery and Adam Wolisz "Tomorrow's In-Car Interconnect? A Competitive Evaluation of IEEE 802.1 AVB and Time-Triggered Ethernet (AS6802)," Vehicular Technology Conference (VTC Fall), IEEE Sept. 2012
- [5] http://portal.osek-vdx.org/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- [6] M.Schwartz, Computer-Communication Network Design and Analysis, Prentice-Hall, 1977