

# 실시간 산업용 네트워크를 위한 가상 폴링 기반 이더넷 구현

김태준\*, 이경창(부산대 대학원 지능기계공학과), 이석 (부산대 교수 지능기계공학과)

## Ethernet with Virtual Polling Algorithm for Real-Time Industrial Communication Network

T. J. Kim, K. C. Lee(Intelligent Mech. Eng. Dept. PNU) , S.Lee (Mech. Eng. School. PNU)

### ABSTRACT

This paper focus on a method to use Ethernet Network for Industrial Communication Network Ethernet use the CSMA/CD MAC (Medium Access Control) Protocol at the Data-Link Layer , Which isn't sut for Industrial Communication Network requiring Real-Time Communication , periodic data processing , critical data proccessing characteristics In this paper we proposed that Virtual Polling Algorithm at the Application Layer will be solution of using the Ethernet Network for the Industrial Communication Network. Proposed Algorithm terminate the Collision in the network thus Delay Time is reduced and Real-Time Communication will be implemented.

**Key Words :** Ethernet , IEEE 802.3, CSMA/CD, Industrial Network, Real-Time Communication , TCP/IP

### 1. 서론

생산 자동화 설비를 구축함에 있어서 산업용 기기들간의 정보교환은 실시간 산업용 네트워크의 중요한 구성 요소중의 하나이다. 필요한 정보교환을 목적으로 산업용 네트워크에서 요구되는 트래픽 특성을 만족시키기 위하여, 다양한 표준 기관들과 회사들로부터 여러 가지 필드버스 프로토콜이 개발되었다 최근에는 국제표준으로 IEC 61158 프로토콜이 개발되었으며 여기에는 세계적으로 널리 사용되고 있는 Profibus, WorldFIP, Foundation Fieldbus 등이 포함되어 있다 [1][2] 하지만 이러한 필드버스는 네트워크 지연시간의 불확실성을 제거 하는 데는 탁월한 장점을 가지고 있음에도 불구하고 고가의 하드웨어, 그리고 호환성의 결여 등의 문제점 때문에 아주 널리 사용되는 데는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로 정보기술 분야에서 널리 사용되는 컴퓨터 네트워크 기술을 산업분야에 적용시키려는 연구가 진행 중이며 이는 매우 바람직한 현상이다. 하지만 정보기술 분야의 네트워크 기술을 산업용 네트워크로 그대로 적용시키는 것은 많은 문제점을 내포하고 있다. 정보기술 분야의 대표적인 네트워크 기술인 Ethernet 은 기본적으로 비실시간, 광역 네트워크 환경에 적합하도록 설계되었기 때문에 산업용 네트워크에서 요구하는 실시간 특성을 만족시키지 못한다. 그렇기 때문에

Ethernet 을 수정하여 산업용 네트워크로 활용하기 위한 다양한 방법들이 연구되어 왔으며 그 첫번째 노력으로 Ethernet 네트워크의 MAC(Medium Access Control)계층을 수정하는 방법이 있다. Ethernet MAC 계층의 CSMA/CD 방식은 예측할 수 없는 지연을 발생시키며 이러한 지연은 실시간 시스템에 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 방식의 대표적인 예로는 BRAM (Broadcast Recognizing Access Method), MBRAM (Modified BRAM) 등을 들 수 있다[3]

두 번째 접근방법은 네트워크 계층의 수정에 있다. 이러한 네트워크 계층 프로토콜로는 ST-II 나 RSVP 등을 들 수 있다. 이 두 가지 프로토콜은 실시간 멀티미디어 통신을 위해서 개발되었다[4][5]

세 번째 접근방법으로는 Transport 계층의 확장에 있다 그 대표적인 예로는 T/TCP, LAN/TCP 등이 있다[6] 하지만 앞서 설명한 세가지 수정방식은 모두 Ethernet MAC 계층, 혹은 TCP/IP 계층의 프로토콜을 확장하여야 하므로 어느 정도는 하드웨어 혹은 운영체제를 변경하여야 한다.

본 논문에서는 앞에서 제시한 방법 이외에 응용 계층에 산업용 네트워크의 요구특성을 처리할 수 있는 가상 폴링 (Virtual Polling) 알고리즘을 구현하여 MAC, TCP/IP 계층의 수정 없이 응용계층의 수정만으로 Ethernet 을 산업용 네트워크로 활용할 수 있는 방법을 제시한다. 논문의 2 장에서는 실시간 산업용 네트워크에서 요구되는 특성 및 Ethernet 을

산업용 네트워크로 사용할 시 발생하는 문제점에 대하여 살펴보고 3 장에서는 제시하는 Virtual Polling 알고리즘의 작동방식 및 기능에 대해 설명하도록 한다. 마지막으로 결론에서는 제시된 알고리즘이 산업용 네트워크로 완벽한 동작을 하기 위하여 개선되어야 할 점에 대하여 고찰하도록 한다.

## 2. Real-Time Industrial Network with Ethernet

### 2.1 산업용 네트워크의 요구특성

산업용 네트워크에서는 자동화 시스템에서 생성되는 데이터 특성에 의해, 아래와 같은 요구조건이 만족 되어야 한다. 첫째 데이터의 실시간 요구조건의 만족에 관한 기준으로, 데이터의 종류에 따라 허용되는 시간 지연량을 만족할 수 있어야 한다. 일반적으로 일정한 전송시간지연 후에 전송되어도 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않는 데이터들은 비실시간 트래픽(Non-Real-Time Traffic)으로 정의되며, 이들은 전송지연에 민감하지 않다. 반대로 일정한 전송시간지연이 발생하면 시스템의 성능에 치명적인 영향을 미치는 데이터들은 실시간 트래픽(Real-Time Traffic)으로 정의되며, 이들은 주어진 시간제한 내에 전송되어야 한다 따라서 산업용 네트워크에서는 실시간 트래픽을 우선적으로 처리할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다 둘째로 데이터의 주기성에 관한 문제로 주기적 트래픽(Synchronization Traffic)과 비주기적 트래픽(Aperiodicity Traffic)이 동시에 처리되어야 한다[7].

### 2.2 Medium Access Control

모든 네트워크들은 전송용량을 공유하는 다바이스들로 구성되어 있다. 그 전송용량을 순서에 맞게 효율적으로 사용하기 위하여 전송매체에 대한 액세스를 제어할 필요가 있다 이를 위한 기법이 매체 액세스 제어 (Medium Access Control : MAC) 프로토콜 이다 매체 액세스 기술을 두 가지로 구분해 보면 중앙 집중형 방식과 분산형 네트워크 방식이 있다 중앙 집중형 방식은 우선순위, 오버라이드, 데역폭의 보장과 같은 각종 제어를 수행할 수 있고, 각 스테이션에 상대적으로 간단한 액세스 논리만 가지면 된다. 하지만 중앙 제어기의 고장이 발생하면 네트워크의 동작을 중지시켜야 한다 반면에 분산형 네트워크는 하나의 스테이션에 고장이 발생하더라도 다른 스테이션에 영향을 미치지 않는 장점이 있다 일반적으로 액세스 제어기법은 동기적인 것과 비동기적인 것으로 나누어진다. 이 중 동적인 통신요청에 즉각적으로 반응하여 용량을 할당하기 위해서는 비동기적 방법을 사용하는 것이 좋는데 비동기적 방법의 종류에는 라운드 로빈(Round

robin), 예약(Reservation), 경쟁(Contention)의 세가지 방법이 있다. 라운드 로빈 기법에서는 각 스테이션에 차례로 전송할 기회가 주어진다. 그 전송기회 동안 스테이션은 전송을 거절하거나 또는 일반적으로 최대의 데이터량이나 시간으로 정해진 어떤 상한 이내로 전송을 하게 된다. 전송순서의 제어에는 중앙 집중형이나 분산방식으로 수행된다. 폴링은 중앙 집중형 방식의 한 예이다 라운드 로빈 방식은 많은 스테이션들이 데이터 전송을 할 때 매우 유용하다. 스트림 트래픽의 경우 예약 (Reservation) 기법이 적합하다 일반적으로 이러한 기법에서 매체를 사용하는 시간은 슬롯(Slot)들로 나누어진다. 전송을 원하는 스테이션은 긴, 혹은 잘 특정한 시간의 슬롯들을 미리 중앙 집중형이나 분산형 방식으로 예약한다. 비스트(Bursty) 트래픽의 경우에는 경쟁 (Contention) 기법이 적절하다 이 기법은 전송 차례를 결정하기 위한 제어가 필요 없다 따라서 모든 스테이션은 전송하기 위해서 경쟁하게 된다 이러한 기법은 근본적으로 분산형 방식이 된다. 주요 이점은 구현하기가 쉽고 소량에서부터 적당량의 전송이 이루어질 때 효율적이라는 것이다. 그러나 전송량이 많을 때는 성능이 저하된다.

### 2.3 Ethernet (IEEE 802.3)

현재 Ethernet에서는 매체접근 방식으로 CSMA/CD 방식을 채택하고 있다 이 방식은 위에서 설명한 경쟁(Contention) 기법이며 접속해 있는 모든 노드들에 미디어를 사용할 수 있는 기회를 동일하게 준다 그림 1 은 CSMA/CD Transmit 상태를 나타낸 것이다.

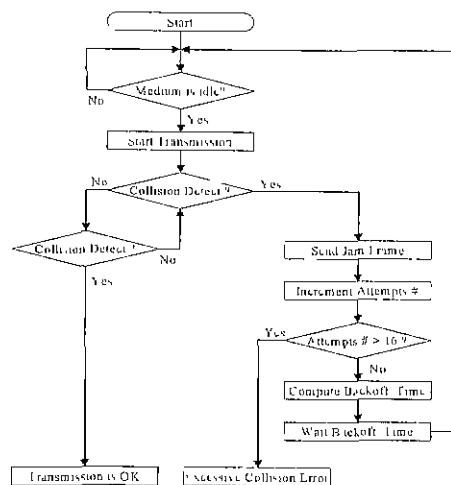


Fig 1. State Diagram of CSMA/CD Transmit State

그림 1 에서 메시지 전송 중 충돌을 감지하면 송신측 기기는 Jam Frame 을 전송하고 충돌이 발생한 메시지에 대하여 재전송 하려는 시도를 한다. 재전송 하기 전 Random Backoff Time 동안 기다리는데 Network 에 과도한 부하(Traffic)가 걸리는 경우 오랜 시간 동안 재전송을 하지 못하고 Wait 상태가 된다 이것은 LAN(Local Area Network) 망에서는 큰 문제가 발생하지는 않지만 실시간을 요구하는 산업용 네트워크에서는 이와 같은 비 결정 지연 시간 (Non-Deterministic Delay time)은 산업용 기기 및 전체 네트워크에 심각한 오류를 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 폴링 알고리즘을 응용계층에 구축하여 Ethernet 에서의 Random Backoff 알고리즘이 수행되지 않게 만든다. 이것은 Ethernet 의 비결정적 시간지연 (Non-Deterministic Delay Time) 특성을 제거 함으로써 산업용 네트워크에서 요구하는 특성을 만족 시킬 수 있다

### 3. Virtual Polling Algorithm

본 논문에서는 Ethernet 네트워크의 불확실성을 줄이기 위하여, 응용계층에서 구현되는 가상 폴링 알고리즘(Virtual Polling Algorithm)을 제안한다. 그림 2 는 가상 폴링 알고리즘의 토폴로지 구조를 나타내며 그림 3 은 알고리즘의 개념도를 나타내고 있다. 그림에서 통신에 참여하는 스테이션은 가상 마스터 스테이션(Virtual Master Station)과 가상 슬레이브 스테이션 (Virtual Slave Station)으로 구분할 수 있다 가상 마스터는 통신에 참여하는 다른 스테이션의 전송을 관리하는 스테이션으로 효율적인 전송 관리를 위하여 가상 폴링 목록 (Virtual Polling List, VPL) 와 가상 폴링 주기 (Virtual Polling Period, VPP) 를 가지고 있다 여기에서 가상 폴링 모드 리스트에는 가상 마스터가 통신요청을 해야 하는 가상 슬레이브들의 IP 주소가 기록되어 있으며, 가상 폴링 주기에는 폴링 사이클을 반복해야 하는 시간이 저장되어 있다

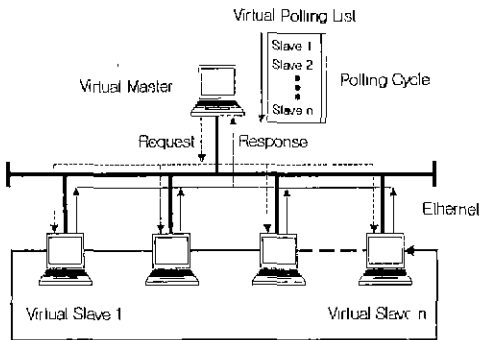
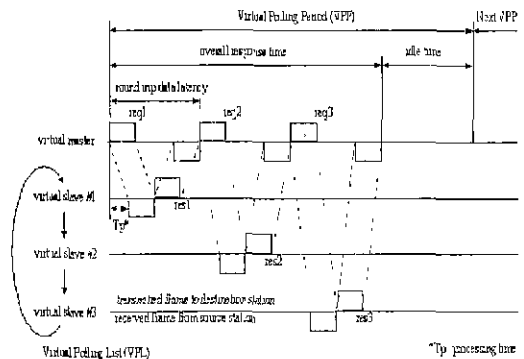


Fig 2 Topology Structure of Virtual Polling Algorithm

그림 3 에서, 가상 마스터는 가상 폴링 목록에 기록되어 있는 순서대로, 가상 슬레이브에게 요청 (Request) 프레임을 전송하며, 가상 슬레이브는 요청 프레임을 수신한 후 응답(Response) 프레임 전송한다 가상 마스터는 이러한 절차를 따라 가상 폴링 목록 내의 모든 스테이션과 통신을 마치고 나서, 가상 폴링 주기가 만료 될 때까지 전송을 기다리게 된다 이러한 알고리즘으로 인하여, 네트워크에 참여한 스테이션들은 가상 마스터가 전송권한을 부여한 경우, 즉, 가상 마스터가 요청 프레임을 자신에게 전송하는 경우에만 통신에 참여할 수 있다. 따라서, 네트워크 내에서 두 대 이상의 스테이션이 전송하는 가능성을 방지할 수 있게 되어, Ethernet 네트워크에서 발생할 수 있는 충돌을 방지할 수 있게 된다.

그림 4 는 가상 마스터 및 가상 슬레이브의 통신을 위한 상태를 나타내고 있다 가상 마스터는 통신이 시작(Start Event)되면 Transmit\_Request 상태로 진입하고, 가상 폴링 목록에 있는 가상 슬레이브에게 요청 프레임 전송(Send\_Request Event)한다. 그리고 나서, 가상 마스터는 Wait\_Response 상태에서 가상 슬레이브로부터의 응답 프레임을 기다린다. 응답 프레임을 받게되면(Receive\_Response Event) 다음 가상 슬레이브에게 응답 프레임 전송하기 위하여 Transmit\_Request 상태로 진입한다 만약, 가상 폴링 목록 내의 모든 스테이션에게 전송을 하였다면(End\_VPL), 가상 마스터는 Wait\_Next\_VPP 상태로 진입하여 통신을 중단(End Event)하거나, 다음 가상 폴링 주기가 올 때까지 기다린다 여기에서, 다음 가상 폴링 주기가 시작되게 되면(Start\_Next\_VPP), 다음 통신을 위하여 Transmit\_Request 상태로 진입한다. 가상 슬레이브의 경우, 통신이 시작되고 나면(Start Event), Wait\_Request 상태로 진입하여, 가상 마스터로부터 요청 프레임이 올 때까지 기다린다 만약, 요청 프레임이 수신되면(Receive\_Request Event) Transmit\_Response 상태로 진입하여 응답 프레임을 가상 마스터에게 전송하고(Send\_Response Event), Wait\_Request 상태로 진입한다

Fig 3 Schematic Diagram of Virtual Polling Algorithm



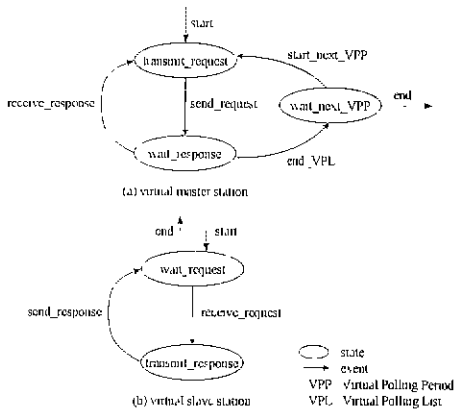


Fig 4 State Diagram of Virtual Master and Slave

그림 5 는 네트워크에서 가상 슬레이브의 수에 따른 가상 폴링 알고리즘의 반응시간 (Overall Response Time)을 나타내고 있다. 여기에서 반응시간은 가상 마스터가 폴링 리스트에 기재되어 있는 첫 번째 가상 슬레이브에게 요청 프레임을 송신하고 나서부터, 마지막 가상 슬레이브로부터 응답 프레임을 수신하는 데 까지 걸린 시간으로 정의한다. 또한, 가상 마스터의 가상 폴링 주기는 100msec 로 가정 하였으며, 요청 및 응답 프레임의 길이는 40byte 로 가정하였다. 그림에서, 가상 슬레이브가 1 대인 경우, 반응시간은 0.3msec 가 걸렸으며, 스테이션 수가 증가함에 따라, 반응시간은 선형적으로 증가하는 현상을 확인하였다. 즉, 하나의 스테이션에 걸린 시간은 스테이션의 수와 관계없이 일정함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과에 따라, Ethernet 네트워크에서 발생할 수 있는 스테이션간의 충돌이 가상 폴링 알고리즘에 의하여 완전하게 제거되었다는 것을 알 수 있다.

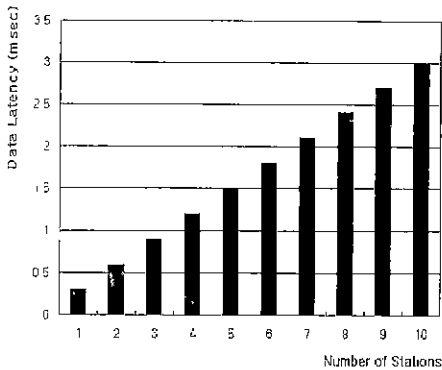


Fig 5 Overall Response Time of VPM Algorithm

또한, 한 스테이션간의 데이터 교환에 소요되는 시간이 0.3msec 이므로, 일반적으로 알려져 있는 데이터의 전송지연이 10msec 이하여야 한다는 엄격한 실시간 요구조건을 만족하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 Ethernet 을 산업용 네트워크로 활용하기 위한 하나의 방법을 다루었다. 이를 위해 Ethernet 의 Non-Deterministic 시간지연 특성을 응용 계층의 수정을 통하여 산업용 네트워크에서 요구되는 실시간 특성을 만족시킬 수 있는 가상 폴링 알고리즘을 제안하였다. 하지만 제안한 알고리즘이 산업용 네트워크에서 요구하는 기능을 충족하기 위해서는 많은 기능들이 첨가 되어야 한다. 중앙 집중형 방식에 있어서 중앙의 마스터 스테이션에 오류가 발생하였을 때 마스터의 역할을 대신할 수 있는 Redundancy 마스터 스테이션의 기능, 네트워크에 슬레이브 스테이션이 첨가(Add), 삭제(Release)될 때 마스터 스테이션에서 이를 인식하고 폴링 리스트를 재 생성하는 기능, 메시지의 정확한 전송을 위한 Error 처리 기능, 메시지 우선순위에 관한 기능에 대한 연구가 계속해서 이루어져야 한다.

#### 참고문헌

1. J. P. Thomesse, "Fieldbuses and interoperability, Control Engineering Practice, vol 7, pp 81-94, 1999.
2. IEC 61158-4, Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems - Part 4 Data link protocol specification, 1999.
3. R.P Signorile, J LaTourrette, M. Fleisch, "MBRAM-a priority protocol for PC based local area networks" IEEE Network , Volume. 2 Issue. 4 , July 1988, Page(s): 55 -59
4. CIP Working Group "Experimental Internet Stream Protocol, Version 2 (ST-II)", RFC1190, 1990
5. R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) --Version 1 Functional Specification", RFC 2205, 1997
6. R. Braden "T/TCP -- TCP Extensions for Transactions Functional Specification ", RFC 1644, 1994
7. 이경창, 김기웅, 김희현, 이석, "실시간 페루프 제어 시스템을 위한 Profibus-FMS 네트워크의 구현", 제어·자동화 시스템공학회 논문지 제 6 권, 제 10 호, pp 912-918, 2000 10
8. 박재현 "분산제어 시스템을 위한 실시간 Ethernet 통신 응용", 제어 자동화·시스템공학회 지, 제 7 권 제 1 호, pp. 36-41 2001.1