

IEEE 802.11을 이용한 Profibus 네트워크의 무선 확장 및 성능 평가

Wireless Extension of Profibus Network Using IEEE 802.11 and Its Performance Evaluation

이 경 창, 강 송, 이 석, 이 만 형

(Kyung Chang Lee, Song Kang, Suk Lee, and Man Hyung Lee)

Abstract : This paper focuses on a method to connect mobile devices such as mobile robot, Automated Guided Vehicle (AGV) and Unmanned Container Transporter (UCT) to a fieldbus. In this paper, the IEEE 802.11 wireless LAN is used to extend a Profibus network for the mobile devices. In order to integrate these two networks, a gateway is developed using two threads and an internal buffer. Furthermore, a polling algorithm is applied at the gateway in order to satisfy real-time requirements on data communication. Finally, the performance measures such as data latency and throughput are experimentally evaluated on a wirelessly-extended Profibus network. The results shows the feasibility of the wireless extension of Profibus for various mobile devices.

Keywords : Profibus and its wireless extension, IEEE 802.11 wireless LAN, Profibus-IEEE 802.11 gateway, TCP/IP

I. 서론

최근, 자동화 시스템에는 이동성(mobility)을 가진 이동 로봇(mobile robot)이나 AGV(Automated Guided Vehicle), UCT(Unmanned Container Transporter)와 같은 이동 장치들(mobile devices)이 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 장치들은 작업물의 이동을 원활하게 함으로써, 자동화 시스템의 생산성을 향상시킨다. 예로, 자동화 시스템 중의 하나인 컨테이너 터미널(그림 1)에서는 컨테이너들을 이동시키기 위하여 다수의 UCT들이 사용되고 있다. 터미널이 효율적으로 운영되기 위해서는 작업 할당(task allocation), 경로 설계(path planning), 충돌 회피(collision avoidance) 등과 같은 제어 기능들이 제어 센터에 필요하다. 이를 위하여, 제어 센터에서는 터미널 내에 분산되어 있는 센서들로부터 UCT의 위치 정보가 교환되어야 하며, UCT로부터 작업 상태 정보가 교환될 수 있어야 한다. 일반적으로 제어 센터, 센서 시스템 등과 같은 고정된 시스템들간의 정보 교환을 위해서는 산업용 네트워크를 필요로 하며, UCT와 같은 이동 시스템(mobile system)들 간의 정보 교환을 위해서는 무선 통신 네트워크를 필요로 한다[1][2].

산업용 네트워크에서는 자동화 시스템에서 생성되는 데이터 특성에 의해, 다음과 같은 기준이 만족되어야 한다. 첫째, 데이터의 실시간 요구 조건의 만족에 관한 기준으로, 데이터의 종류에 따라 허용되는 시간 지연량을 만족할 수 있어야 한다는 기준이다. 일반적으로, 일정한 전송 시간 지

연 후에 전송되어도 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않는 데이터들은 비실시간 트래픽(non-real-time traffic)으로 정의되며, 이들은 전송 지연에 민감하지 않다. 반대로, 일정한 전송 시간 지연이 발생하면 시스템의 성능에 치명적인 악영향을 주는 데이터들은 실시간 트래픽(real-time traffic)으로 정의되며, 이들은 주어진 시간 제한 내에 전송되어야 한다. 따라서, 산업용 네트워크에서는 실시간 트래픽을 우선적으로 처리할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다. 예로, 충돌 회피 기능을 위하여 필요한 UCT의 현재 위치 정보는 실시간 트래픽이므로, 가장 먼저 처리될 수 있어야 하며, UCT의 목적지 정보는 비실시간 트래픽으로 고려할 수 있다. 둘째, 데이터의 주기성에 관한 문제로, 주기적 트래픽(synchronization traffic)과 비주기적 트래픽(aperiodic traffic)이 동시에 처리되어야 한다. 예로, UCT의 운전을 위하여 센서 시스템으로부터 요구되는 UCT 현재 위치는 주기적 트래픽으로 고려될 수 있으며, UCT의 작업 완료 정보나 고장 정보 등은 비주기적 트래픽으로 고려될 수 있다[3][4].

산업용 네트워크에서 요구되는 트래픽 특성을 만족시키기 위하여, 다양한 표준기관들과 회사들로부터 여러 가지 필드버스 프로토콜이 개발되었다. 최근에는 국제표준으로 IEC 61158 프로토콜이 개발되었으며, 여기에는 세계적으로 널리 사용되고 있는 Profibus, WorldFIP, Foundation Fieldbus 등이 포함되어 있다[5][6]. 그러나, IEC 61158 필드버스는 AGV나 UCT와 같은 이동 장치들을 네트워크에 접속시킬 수 있는 기능을 가지고 있지 못하므로, 자동화 시스템의 완전한 통합에는 한계를 가질 수밖에 없다.

따라서, 자동화 시스템의 완전한 통합을 위해서는, 무선을 전송매체로 사용할 수 있는 무선 필드버스나 유선 필드버스에 무선 노드를 접속할 수 있는 네트워크가 필요하다. 이러한 필요성에 따라, 여러 연구들이 진행된 바 있다. 이

접수일자 : 2000. 10. 27., 수정완료 : 2001. 2. 15.

이경창, 강 송 : 부산대학교 지능기계공학과(gclee@pnu.edu/kan_gsong@pun.ac.kr)

이 석, 이만형 : 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소(slee@pnu.edu/mahlee@pnu.edu)

※ 본 연구는 2000년도 한국과학재단 지정 지능형통합항만관리 연구센터에서 지원하여 연구하였습니다.

러한 연구들 중에는, ESPRIT(European Strategic Program for Research and Development in Information Technology) 프로그램의 지원을 받아 무선 필드버스로 제안된 OLCHFA(Open, Low Cost, Time Critical, Wireless Fieldbus Architecture)[7]가 있으나, 아직까지 실용적인 연구 결과들은 제안되지 않고 있다. 이외에도 Cavaliere[8]에 의하여 무선 게이트웨이를 이용하여 분리되어 있는 이종의 필드버스를 연결하려는 연구가 제안된 바 있으나, 이 연구는 주로 무선 백본망에 초점을 맞추고 있다.

본 논문에서는 이동 장비들을 필드버스에 접속할 수 있는 방법으로, IEEE 802.11 무선랜을 이용한 무선 확장 Profibus(wireless extension of Profibus)를 제안한다. 본 논문에서는 필드버스의 무선 확장을 위하여 IEEE 802.11 무선랜 프로토콜을 사용하였으며, 두 네트워크의 통합과 자동화 시스템에서 필요한 실시간 요구조건을 만족시킬 수 있도록 응용계층에서의 가상 폴링 모드(Virtual Polling Mode, VPM) 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안된 무선 확장 Profibus의 성능 평가를 위하여 실험 모델을 개발하고, 성능 실험을 수행하였다.

본 논문은 서론을 포함하여 6장으로 구성되어 있다. 2장에서는 Profibus-FMS 프로토콜에 대하여 설명하며, 3장에서는 IEEE 802.11 무선랜에 대하여 설명한다. 4장에서는 Profibus와 무선랜의 통합 방식과 가상 폴링 모드 알고리즘을 제안한다. 5장에서는 VPM 알고리즘과 무선 확장 Profibus의 성능에 대하여 설명하며, 마지막으로 6장에서는 결론을 제시한다.

II. Profibus-FMS

Profibus-FMS는 필드 장비들의 실시간 통신 특성을 보장하기 위하여, 그림 2와 같이 OSI(Open System Interface) 7계층 모델 중 물리계층, 데이터링크계층, 응용계층만을 가지고 있다. 또한, 사용자와의 인터페이스를 위하여 8계층과 네트워크 관리를 위하여 관리계층을 가지고 있다[9].

Profibus-FMS의 물리계층으로는 RS-485가 사용되며, 버스 토폴로지를 사용한다. 전송속도는 FMS의 경우 9.6 Kbps에서 500Kbps까지 지원한다.

데이터링크계층에는 매체접속제어(Medium Access Control, MAC) 기능과 논리링크제어(Logical Link Control, LLC) 기능이 정의되어 있다. Profibus-FMS는 토큰전달(token passing) 방식을 사용하며, 버스에 접속된 스테

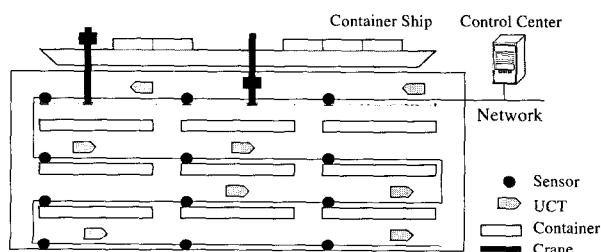


그림 1. 자동화 컨테이너 터미널의 구조.
Fig. 1. Schematic diagram of an automated container terminal.

이션들을 마스터(master)와 슬레이브(slave)로 구분한다. 마스터는 논리적 링을 따라 회전하는 토큰을 소유할 수 있으며, 토큰을 소유한 경우 다른 스테이션과의 통신을 수행할 수 있다. 그러나, 슬레이브는 토큰을 소유할 수 없으며, 마스터의 요청에 의해서만 통신에 참여할 수 있다.

마스터는 전송권한의 설정을 위하여 TRT(Target Rotation Time), RRT(Real Rotation Time), THT (Token Holding Time)와 같은 3가지 종류의 타이머를 가진다. 여기에서, TRT는 토큰이 버스를 1회전하는데 예상되는 시간으로 정의되며, RRT는 실제 토큰이 버스를 1회전하는데 걸린 시간으로 정의된다. 또한, THT는 토큰을 가진 스테이션에서 통신이 가능한 시간으로, TRT와 RRT의 차이 (TRT-RRT)로 정의된다. 마스터는 토큰을 받은 후, THT를 계산한 후, 하나의 높은 우선순위 메시지 사이클(high priority message cycle)을 수행한다. 하나의 메시지 사이클이 끝나고 난 후, 추가적인 메시지 전송은 THT가 0보다 큰 경우에만 수행될 수 있다. 만약 THT가 종료되었거나, 전송할 메시지가 없는 경우, 마스터는 논리적 링의 순서대로 다음 스테이션에게 토큰을 전송한다.

Profibus-FMS의 응용계층에는 FMS(Fieldbus Message Specification), LLI(Lower Layer Interface) 및 FMA7 (Fieldbus Management Application 7)이 포함되어 있다. FMS는 통신객체와 응용서비스를 정의하며, LLI는 응용서비스와 FDL(Fieldbus Data link Layer)간의 접속을 위한 기능을 정의하고 있다. 그리고, FMA7은 네트워크 관리를 정의하고 있다.

Profibus-FMS에서 통신 서비스가 수행되기 위해서는 서비스를 요구하는 클라이언트와 요구에 응답하는 서버와의 관계가 설정되어야 한다. 여기에서 클라이언트와 서버 관계는 통신객체(communication objects), 통신관계(communication relationships) 및 통신서비스(communication services)들로 구성된다. 통신객체는 각 노드 사이에서 교환되는 데이터를 의미하며, 센서에서 측정되는 데이터나 통신 관련 파라미터들이 여기에 속한다. 한 노드는 여러개의 통신객체를 가질 수 있으며, 이러한 통신객체의 목록을 OD(Object Dictionary)라 한다. 통신관계는 각 노드간

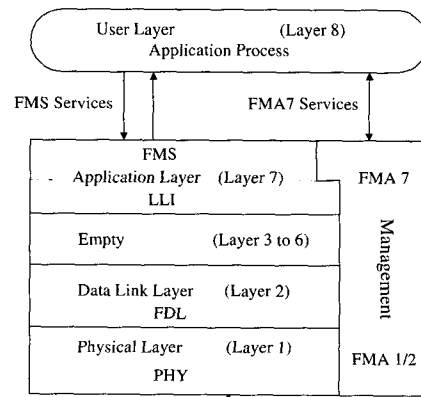


그림 2. Profibus-FMS 프로토콜의 구조.
Fig. 2. Protocol architecture of Profibus-FMS.

서비스의 논리적 연결 기능을 의미하며, 통신관계의 목록은 CRL(Communication Relationship List)에서 관리된다. 이 목록은 CR(Communication Reference) 순으로 기입되며, 각 CR에는 해당 노드에서 응용 프로세스들 간의 데이터 교환을 위한 관계 설정이 정의되어 있다. 통신서비스는 이들 통신객체들에 대한 해당 노드의 응용 서비스를 의미한다.

Profibus-FMS의 응용계층인 FMS는 필드버스의 사용자와 연결되는 부분으로, 필드기기의 응용 프로그램과 연결된다. FMS는 VFD관리(virtual field device support), OD관리(object directory management), 연결관리(context management), 변수관리(variable access) 등과 같은 서비스군을 가지고 있다. LLI는 7계층과 2계층의 상호연결(mapping)을 다루며, 흐름 제어(flow control)와 연결 관리를 수행한다. 마지막으로 FMA7은 버스 시스템의 구성, 유지 및 보수와 같은 관리에 관계되며, 오류관리(fault management), 시스템 구성 관리(configuration management) 등의 기능을 제공한다.

III. IEEE 802.11 무선랜

무선랜의 개념은 1980년대 초 컴퓨터들간의 고속 무선 통신을 위하여 처음 소개되었다. 1980년대 중반 미국에서 ISM(Industrial Scientific Medical : 산업, 과학, 의료기기)가 면허없이 사용할 수 있게끔 국제적으로 할당된 주파수대, 902~908MHz, 2.4~2.4835GHz, 5.725~5.825GHz) 대역이 허가된 이후, 무선랜의 구현을 위한 다양한 접근방법들이 등장하였다. 1990년대 초 첫 번째 무선랜 제품들이 시장에 소개되기 시작하였으며, 그 이후 IEEE 802.11 표준 개발이 시작되었다. 1999년 IEEE 802.11 프로토콜이 국제 표준으로 확정되었으며, 현재 무선랜은 다양한 응용 분야에서 활발하게 적용되고 있다[10][11].

IEEE 802.11 무선랜은 그림 3과 같은 계층 구조를 가지고 있다. 무선랜의 경우, 물리계층과 MAC 계층에는 IEEE 802.11이 사용되지만, LLC 계층 이상에는 이더넷에 적용되어 있는 IEEE 802.2, TCP/IP 및 Telnet, FTP, HTTP 등과 같은 응용계층이 사용된다.

물리계층으로는 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum), 적

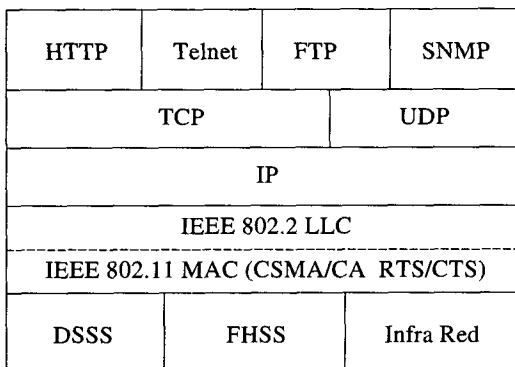


그림 3. IEEE 802.11 프로토콜의 구조.
Fig. 3. Protocol architecture of IEEE 802.11.

외선(Intra-Red) 등이 사용된다. 표준 전송속도는 2.4GHz 대역에서 2Mbps이나, 최근에는 8Mbps 이상을 지원하는 NIC (Network Interface Card)가 개발되었다. IEEE 802.11 토폴로지에는 그림 4와 같은 IBSS (Independent Basic Service Set)과 ESS(Extended Service Set)가 사용된다. IBSS는 IEEE 802.11 네트워크의 가장 기본적인 형태이며, 가장 작은 IBSS는 AP(Access Point)없이 2대의 스테이션만으로 구성될 수 있다. 그러나, ESS는 분배 시스템(Distributed System, DS)과 하나 또는 그 이상의 AP로 구성된다.

IEEE 802.11의 MAC 계층으로는 DCF(Distributed Coordination Function)과 PCF(Point Coordination Function)가 사용된다. DCF는 기본 기능으로서, 매체 접속 방식으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 사용한다. DCF는 IBSS와 ESS에서 모두 사용할 수 있으며, 네트워크 내에 있는 모든 스테이션에서 구현되어야 한다. 그림 5에는 DCF의 작동방식을 나타내고 있다. 전송할 준비가 된 스테이션은 네트워크의 사용 상태를 나타내는 NAV(Network Allocation Vector)가 설정되어 있는지를 검사한다. 만약 NAV가 설정되어 있는 경우, 즉, 네트워크가 사용 중인 경우, 그 스테이션은 NAV의 설정이 해제될 때까지 전송을 보류한다. 그러나,

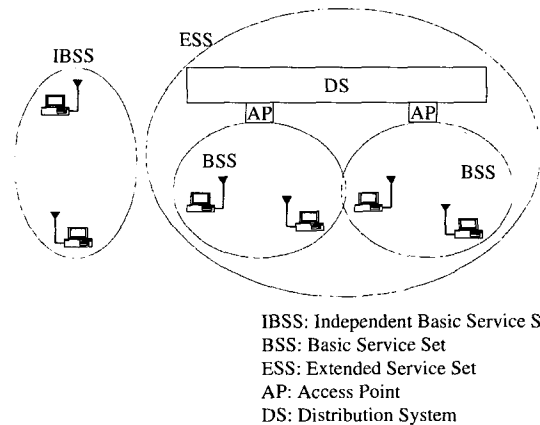


그림 4. IEEE 802.11의 토폴로지.
Fig. 4. Topology of IEEE 802.11.

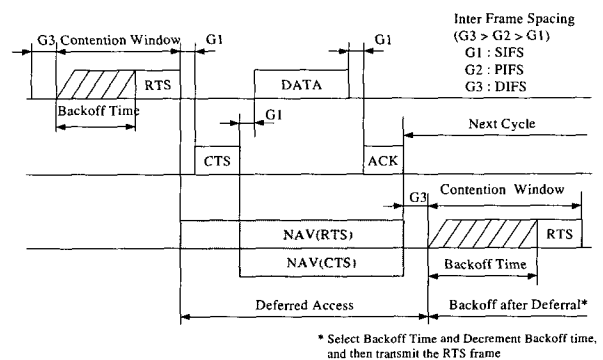


그림 5. DCF의 CSMA/CA 및 CTS/RTS 기능.
Fig. 5. CSMA/CA and CTS/RTS function of DCF.

NAV가 설정되어 있지 않은 경우, 그 스테이션은 랜덤 백오프 시간(random backoff time)을 계산하여, 이 기간동안 기다린다. 그리고 나서, 그 스테이션은 다시 한번 전송매체를 검사한다. 만약 전송매체가 사용 중이지 않으면, 그 스테이션은 네트워크를 점유하기 위하여 즉시 RTS(Request To Send) 프레임을 전송한다. 이 때, RTS에 기록된 수신 스테이션은 RTS를 수신한 후 CTS(Clear To Send) 프레임 송신 스테이션으로 전송한다. 다른 스테이션들은 RTS에 기재된 송수신 스테이션의 전송기간을 해석하여 자신의 NAV를 설정하며, NAV에 설정된 시간이 끝날 때까지 대기한다. 만약, 백오프 시간동안 기다린 후에 전송매체가 사용 중이면, 그 스테이션은 현재 다른 스테이션이 전송 중이라고 판단하며, 자신의 NAV를 설정하기 위하여, 다른 스테이션의 RTS를 기다린다. 이러한 전송 방법으로 인하여, DCF 기능은 RTS 프레임의 충돌만을 허용함으로써, 전송의 대다수를 차지하는 데이터 프레임의 충돌을 사전에 예방할 수 있다. 또한, DCF 기능은 두 스테이션이나 그 이상 스테이션들의 RTS 프레임이 충돌하게 되면, 관련된 스테이션들의 백오프 타임의 평균이 증가되게 하여(전송을 위하여 더 많은 시간동안을 기다리게 함으로써), 다음 전송에 참여할 기회를 줄여 충돌을 감소시킨다.

IEEE 802.11은 옵션 기능으로 PCF를 사용한다. PCF는 ESS에서만 사용될 수 있으며, BSS의 AP에서 구현되어 다른 스테이션들의 전송 순서를 결정하는 PC(Point Coordinator)로서의 역할을 한다. 기본적으로 PCF는 폴링 방식을 운영방식으로 사용하고 있으며, PC가 폴링 방식의 마스터 스테이션의 역할을 한다. 그러나, PCF에는 두 개 이상의 BSS가 동일한 채널에서 운영될 때, 이동 장비가 하나의 BSS에서 다른 BSS로 이동할 때 요구되는 PC간의 핸드오프(handoff) 기능에 대한 추가적인 기능이 필요하다. 현재까지, 이러한 기능들은 IEEE 802.11 표준에 정의되어 있지 않으며, 시스템 공급업자들에 의하여 독자적으로 구현되어야 한다. 따라서, 이러한 문제점으로 인하여, 아직까지 PCF 기능은 실제 응용에서 한계를 가지고 있다.

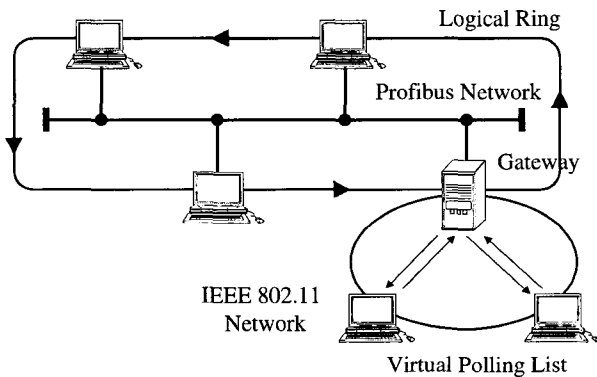


그림 6. 무선 확장 Profibus의 구조.
Fig. 6. Structure of wireless extended Profibus.

IV. 무선 확장 Profibus의 구조

1. Profibus와 IEEE 802.11의 통합

그림 6에는 무선 확장된 Profibus-FMS 네트워크의 구조를 나타내었다. 그림에서 Profibus와 IEEE 802.11 무선랜의 통합은 응용계층에서 두 프로토콜간의 데이터 변환이 이루어지는 게이트웨이를 이용함으로써 구현될 수 있다. 즉, 게이트웨이는 Profibus의 마스터 스테이션인 동시에, 무선랜 스테이션이 된다. 또한, 게이트웨이에서는 Profibus와 무선랜 통신 프로그램이 동시에 수행된다.

그림 7은 게이트웨이 응용 프로그램의 구조를 나타내었다. 게이트웨이 응용 프로그램은 입출력 버퍼(input-output buffer), 무선랜 통신 쓰레드(thread) 및 Profibus 통신 쓰레드로 구성된다. 입출력 버퍼는 데이터를 저장할 뿐만 아니라, Profibus 스테이션과 무선랜 스테이션간의 통신을 위하여 요구되는 통신관계가 설정되어 있다. 게이트웨이를 경유하여 두 스테이션이 통신하기 위해서는 Profibus 네트워크의 경우 CR이, 무선랜 네트워크의 경우 IP가 필요하며, 이를 입출력 버퍼에 기록함으로써 통신관계의 설정을 원활하게 할 수 있다. 예를 들면, 그림에서 게이트웨이와 스테이션 5번과의 무선랜 통신을 위해서는 각각의 IP가 필요하며, 게이트웨이와 스테이션 9번과의 Profibus 통신을 위해서는 CR이 필요하다. 만약 게이트웨이가 Profibus 스테이션 9번으로부터 무선랜 스테이션 5번을 목적으로 가진 데이터를 수신한 경우, Profibus 통신 쓰레드는 데이터를 출력 버퍼에 저장한다. 그리고 나서, 주기적으로 실행되는 무선랜 쓰레드는 출력 버퍼에서 데이터를 읽어 무선랜 스테이션 5번으로 전송한다.

2. 게이트웨이에서의 가상 폴링 모드

본 논문에서는 무선랜 통신 쓰레드를 구현하기 위하여, 소켓을 기반으로 한 서버-클라이언트 모델을 이용하였다 [12]. 그림 8은 본 논문에서 사용된 UDP(User Datagram Protocol) 클라이언트-서버 모델의 상태를 나타내고 있다. 그림에서, 클라이언트 모델은 게이트웨이에, 서버 모델은 무선랜 스테이션에 적용되었다. 클라이언트 스테이션은

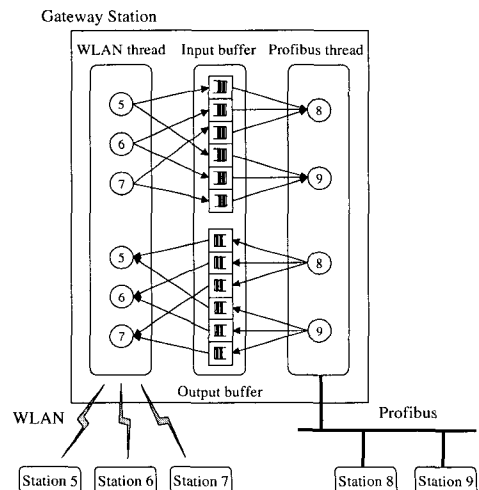


그림 7. 게이트웨이에서의 응용 프로그램 구조.
Fig. 7. Structure of application program in gateway.

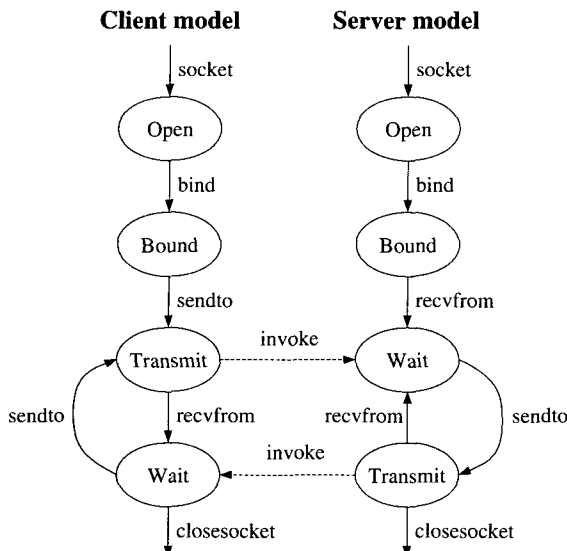


그림 8. UDP 클라이언트-서버 모델의 상태도.
Fig. 8. State diagram of UDP client-server model.

프로그램이 실행되고 나면, open 상태와 bound 상태에서 초기화가 이루어진다. 클라이언트는 초기화가 이루어지고 나면, transmit 상태에서 서버로 통신 요청을 한 후 wait 상태로 천이된다. wait 상태에서 서버로부터 응답이 들어 오면, 추가적인 전송을 위하여 transmit 상태로 천이되거나, 프로그램이 종료된다. 서버 스테이션은 초기화가 이루어지고 난 후, wait 상태로 천이되어 클라이언트로부터의 통신 요청을 기다리게 된다. 이 때, 클라이언트로부터 통신 요청이 들어오면, 서버는 클라이언트로 응답을 하는 transmit 상태로 천이가 일어난다. 서버는 transmit 상태에서 응답을 하고 나면, 다음 통신 요청을 기다리는 wait 상태로 천이되거나, 프로그램이 종료된다.

그러나, TCP/IP 통신이 산업용 네트워크에 응용되기 위해서는 실시간 요구조건에 대한 고려가 필요하다. 특히, MAC 계층에 충돌과 같은 불확실성 요소가 포함될 경우에는 더욱 중요하다. IEEE 802.11은 MAC 계층에 충돌을 기반으로 하는 CSMA/CA를 사용하기 때문에, 반복된 충돌에 따른 손실로 인하여 전송 지연이 매우 크게 증가될 수 있다. 더구나, 네트워크 트래픽이 증가하게 되면, 충돌 확률은 기하급수적으로 증가한다[13]. 따라서, IEEE 802.11을 실시간 요구조건을 가지는 산업용 네트워크로 응용하기 위해서는, 네트워크의 불확실성을 줄일 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이러한 목적으로, BRAM[14], MBRAM[15]와 같은 몇 가지 프로토콜들이 개발된 바 있다. 그러나, 이러한 연구결과들은 MAC 계층에서의 구현이 필요하며, 네트워크에 접속된 장치들이 BRAM 등을 사용하게끔 NIC를 다시 설치해야 하는 문제점 때문에, 실제 응용에 있어서는 많은 제약이 따르고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제의 해결을 위하여, 응용계층에서 구현될 수 있는 가상 폴링 모드(Virtual Polling Mode, VPM) 알고리즘을 제안한다. 그림 9에는 가상 폴링 모드의 동작 방법을 나타내었다. 가상 폴링 모드가 적용된 게이트웨이는 폴링 리스트(polling list)와 폴링 주기(polling

period)를 가지고 있다. 폴링 리스트에는 게이트웨이가 통신 요청을 해야 하는 무선랜 스테이션들의 IP주소가 저장되어 있으며, 폴링 주기에는 폴링 사이클을 반복해야 하는 주기가 저장되어 있다. 그림에서 보듯이, 게이트웨이는 폴링 주기에 따라 폴링 리스트의 순서대로 각 스테이션들에게 통신 요청을 수행하며, 각 스테이션들은 게이트웨이의 통신 요청에 따라 주기적으로 데이터를 전송한다. 이러한 알고리즘으로 인하여, 네트워크 내에서는 충돌이 발생하지 않으며, 각 스테이션들은 주기적인 실시간 데이터를 전송할 수 있게 된다.

본 논문에서는 이러한 VPM 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 1대의 클라이언트와 다수의 서버로 구성된 무선랜 실험 모델을 구현하였으며, 성능 평가를 수행하였다. 실험 모델에서, IEEE 802.11 무선랜 인터페이스 카드로 8Mbps 전송속도를 지원하는 Lucent Technology사의 WaveLAN을 사용하였다.

그림 10에는 IEEE 802.11 네트워크에서 무선랜 스테이션 수에 따른 가상 폴링 모드 알고리즘의 반응시간(overall response time)을 나타내었다. 여기에서 반응시간은 클라이언트가 첫 요청 프레임을 전송한 시간부터, 폴링 리스트에 기재되어 있는 마지막 서버의 응답 프레임이 도착하는

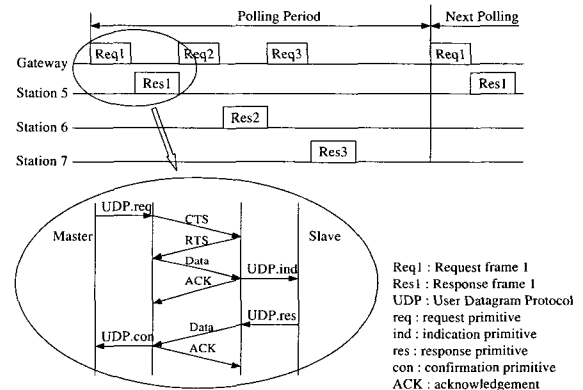


그림 9. 가상 폴링 모드의 동작 방법.
Fig. 9. Operation method of virtual polling mode.

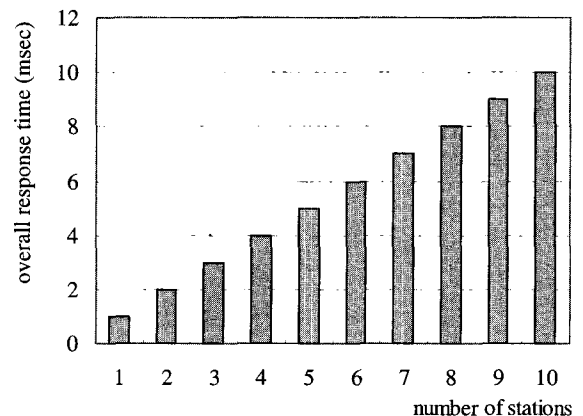


그림 10. VPM의 반응시간.
Fig. 10. Overall response time of VPM algorithm.

데 걸린 시간까지의 간격으로 정의한다. 또한, 무선랜 스테이션의 폴링 주기는 100msec로 설정하였으며, 요청 및 응답 프레임의 길이는 40byte로 설정하였다. 그림에서, 무선랜 스테이션이 1대인 경우, 반응시간은 1msec가 걸렸으며, 스테이션 수에 따라 선형적으로 증가하는 현상을 나타내고 있다. 이러한 결과는 VPM 알고리즘에 의하여 메시지들간의 충돌이 완전하게 제거되었기 때문이라고 판단할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 무선랜 통신을 위한 VPM 알고리즘은 실시간 요구조건의 만족이 필요한 산업용 네트워크로 적합하다고 평가된다.

V. 무선 확장 Profibus의 성능 분석

본 절에서는 무선 확장 Profibus의 성능을 평가하기 위하여, 3대의 Profibus 스테이션 및 1대의 무선랜 스테이션과 1대의 게이트웨이로 구성된 무선 확장 Profibus 실험 모델을 구현하였다. 실험 모델에서, 하나의 Profibus 스테이션(이하에서, Profibus 스테이션 A로 표시한다.)은 무선랜 스테이션과의 통신을 위하여 사용되었으며, 나머지 2대의 Profibus 스테이션(이하에서, Profibus 스테이션 B 및 C로 표시한다.)은 Profibus 네트워크에 통신 부하를 주기 위하여 사용되었다. 본 논문에서는 실험 모델 구현을 위하여, Profibus 인터페이스 카드로 Siemens사의 ASPC2 및 SPC3 ASIC과 SAB-C165 마이크로프로세서가 탑재된 Softing사의 Profi-board를 사용하였다. 또한, Profibus의 전송속도는 500Kbps로 설정하였다.

주어진 트래픽 환경에서, 무선 확장 Profibus의 성능은 게이트웨이의 폴링 주기나 입출력 버퍼의 크기와 같은 성능변수와 관련되어 있다. 본 실험에서는 이의 영향을 파악하기 위하여, 성능변수들과 네트워크 트래픽간의 여러 조합에 따른 실험을 수행하였으며, Profibus 스테이션 A와 무선랜 스테이션간의 왕복지연시간(round trip data latency)과 처리율(throughput)을 관측하였다. 여기에서, 왕복지연시간은 송신 스테이션에서 메시지가 생성된 시간과, 수신 스테이션으로부터 응답 메시지를 수신한 시간까지의 간격으로 정의하며, 처리율은 수신한 메시지 수를 전송한 메시지 수로 나눈 값으로 정의하였다.

그림 11에는 게이트웨이의 폴링 사이클이 5msec에서 50msec로 변하는 경우, 네트워크의 전송지연과 처리율을 나타내었다. 실험에서, Profibus 스테이션 A는 40byte의 메시지를 5msec에서 50msec 주기로 생성하며, Profibus 스테이션 B와 C는 메시지를 생성하지 않은 상태로 Profibus의 논리적 링에 참여만 한다.(토큰의 송수신만 수행한다.) 또한, 게이트웨이의 버퍼 크기는 10개로 고정하였다. 그림에서, 게이트웨이의 폴링 주기가 짧아지면, 전송지연은 낮아지고, 처리율은 높아지는 경향을 보였다. 이는 폴링 주기가 데이터 교환을 위한 실질적인 시간보다 불필요하게 길면, 그 차이만큼 네트워크 용량이 낭비되기 때문이다. 그러나, 그림 10에서 살펴본 바와 같이, 게이트웨이의 폴링 주기는 네트워크에 참여하는 모든 무선랜 스테이션을 폴링할 수 있는 시간보다 더 길게 설정되어야 한다.

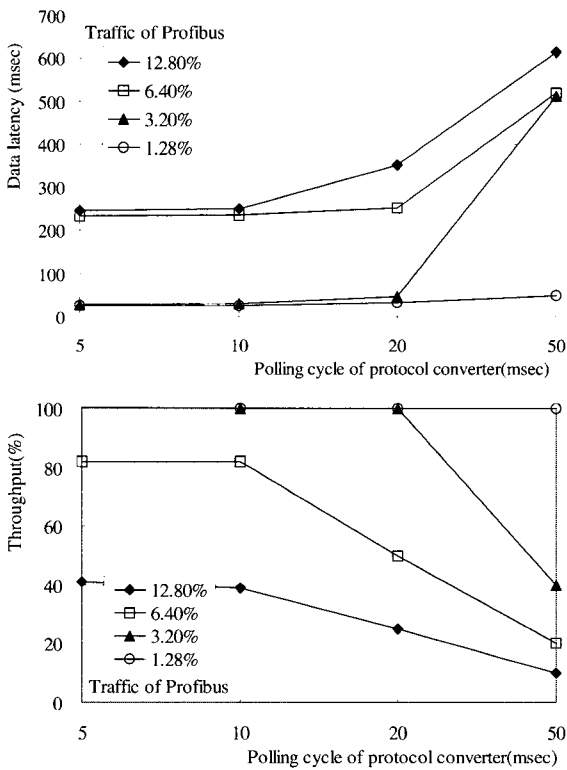


그림 11. 폴링 주기의 변화에 따른 전송지연과 처리율.
Fig. 11. Data latency and throughput with varying polling cycle.

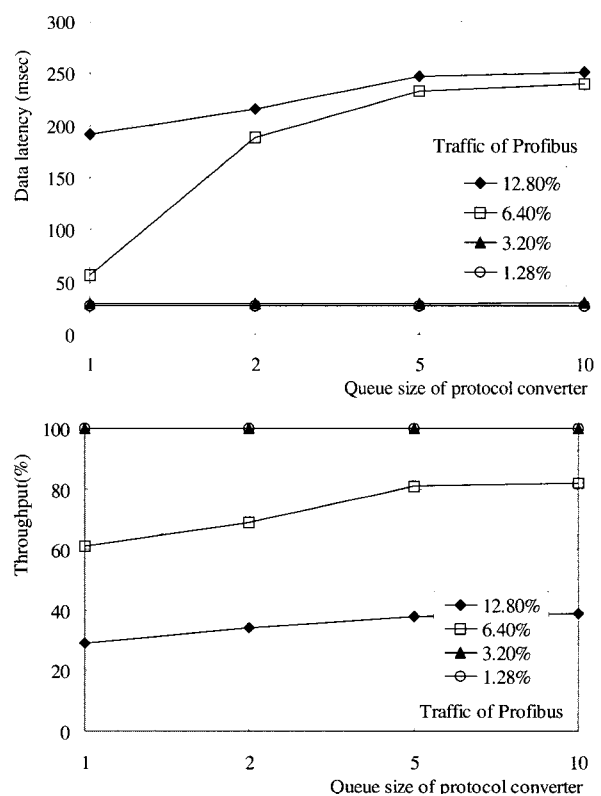


그림 12. 버퍼 크기의 변화에 따른 전송지연과 처리율.
Fig. 12. Data latency and throughput with varying buffer size.

그림 12에는 게이트웨이의 버퍼 크기가 1에서 10으로 변하는 경우, 네트워크의 전송지연과 처리율을 나타내었다. 실험에서, Profibus 스테이션 A는 40byte의 메시지를 5msec에서 50msec 주기로 생성하며, Profibus 스테이션 B와 C는 메시지를 생성하지 않는다. 또한, 게이트웨이의 폴링 주기는 10msec로 고정되었다. 그림에서, 버퍼 크기가 작아지면 전송지연은 낮아지고, 처리율은 감소하는 경향을 보였다. 즉, 트래픽이 높은 경우 게이트웨이의 버퍼 능력보다 더 많은 메시지가 생성됨으로서, 버퍼에 저장되지 못한 메시지는 제거되어 버리기 때문에 처리율이 감소하게 된다. 이러한 결과로 볼 때, 버퍼 크기는 전송지연과 처리율 간의 절충을 고려하여 설정되어야 한다. 본 실험에서는 버퍼 크기를 5보다 크게 선정하였을 경우, 전송지연과 처리율이 함께 좋은 성능을 보였다.

그림 13에는 Profibus 스테이션 B와 C에서 200byte의 메시지가 ∞(메시지가 발생되지 않는 상태)에서 20msec 주기로 생성되는 경우, 무선 확장 Profibus의 전송지연과 처리율을 나타내었다. 실험에서, 게이트웨이의 폴링 사이클은 5msec로, 버퍼 크기는 10으로 고정되었다. 그림에서, 스테이션 B와 C에서 트래픽이 증가되면 전송지연은 증가하고, 처리율은 낮아지는 경향을 보였다. 그러나, Profibus 네트워크의 트래픽이 낮은 경우에는, 네트워크는 매우 낮

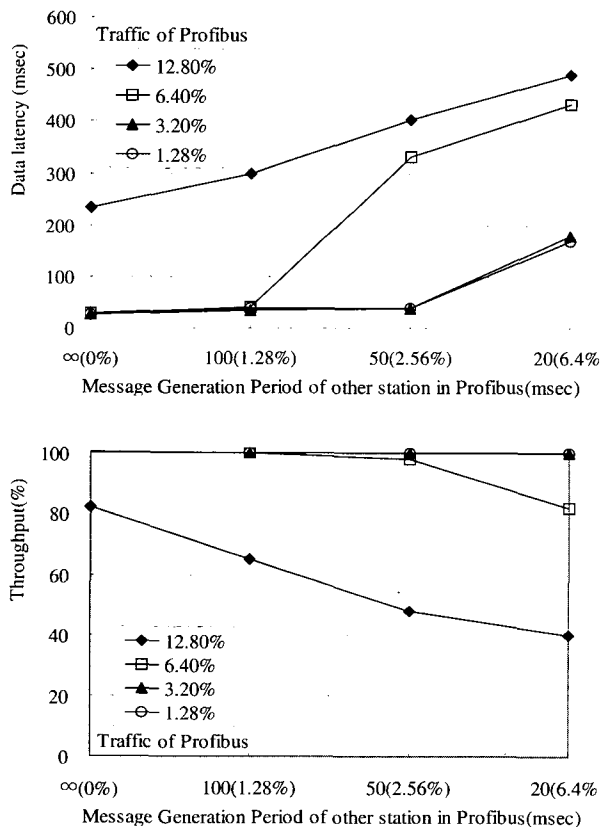


그림 13. Profibus 네트워크의 트래픽 변화에 따른 전송지연과 처리율.
Fig. 13. Data latency and throughput with varying traffic on the Profibus network.

은 전송지연을 나타냈으며, 처리율은 거의 100%에 가깝게 나타났다.

VI. 결론

본 논문에서는 이동 로봇, AGV 또는 UCT와 같은 이동장비들을 Profibus-FMS 네트워크에 통합할 수 있는 방법을 다루었다. 이를 위하여, 본 논문에서는 Profibus 네트워크와 IEEE 802.11 무선랜 네트워크간의 통합 방법과 게이트웨이 구현 방법을 제시하였으며, 산업용 네트워크에서 요구되는 실시간 특성을 만족시킬 수 있는 가상 폴링 모드 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 무선 확장 Profibus의 실험 모델을 구현하고, 네트워크의 성능 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, Profibus와 IEEE 802.11을 연결하기 위하여 개발된 게이트웨이를 이용한 무선 확장 Profibus는 이동하는 장비의 통합을 위한 매우 타당한 대안임을 입증하였다. 둘째, 무선 확장 Profibus의 성능은 게이트웨이의 폴링 주기와 버퍼 크기에 영향을 받는다는 것을 실험적으로 확인하였다.

셋째, 적절하게 선정된 폴링 주기와 버퍼 크기를 갖는 게이트웨이를 이용하면 자동화 컨테이너 터미널과 같이 빠른 통신(soft real-time)이 요구되는 산업용 네트워크로 사용될 수 있음을 보였다.

그러나, 본 연구에서 제안된 무선 확장 Profibus는 10msec 이하의 엄격한 실시간(hard real-time)이 요구되는 피드백 제어 시스템(feedback control system)에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서, 향후에는 보다 엄격한 실시간 환경에서도 적용이 가능한 무선 확장 방법에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] A. Ray, "Networking for computer-integrated manufacturing," *IEEE Network*, vol. 2, no. 3, pp. 40-47, 1988.
- [2] S. H. Lee, J. W. Son, and S. Lee, "Performance management of token bus networks for computer integrated manufacturing," *KSME Journal*, vol. 10, no. 3, pp. 321-331, 1996.
- [3] 홍승호, "필드버스 기술 동향", 제어·자동화·시스템공학회지, 제4권, 제6호, pp. 13-18, 1998.
- [4] 이경창, 김기용, 김희현, 이석, "실시간 페루프 제어 시스템을 위한 Profibus-FMS 네트워크의 구현", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제6권, 제10호, pp. 912-918, 2000.
- [5] J. P. Thomesse, "Fieldbuses and interoperability," *Control Engineering Practice*, vol 7, pp 81-94, 1999.
- [6] IEC 61158-4, Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems - Part 4: Data link protocol specification, 1999.
- [7] D. A. Roberts, "OLCHFA' a distributed time-critical fieldbus," *IEE Colloquium on Safety Critical*

Distributed Systems, pp. 6/1-6/3, 1993.

- [8] S. Cavalieri and D. Panno, "A novel solution to interconnect fieldbus systems using IEEE wireless LAN technology," *Computer Standards & Interface*, vol. 20, pp. 9-23, 1998.
- [9] Profibus Specification - Normative Parts of Profibus-FMS, -DP, -PA according to the European Standard, EN 500 170, vol. 2, 1998.
- [10] K. Pahlavan, T. Probert, and M. Chase, "Trends in local wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, pp. 88-95, 1995.
- [11] ISO/IEC 8802-11, Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, 1999.
- [12] D. Roberts, *Developing for the Internet with Winsock*, F-One Publishing Company, 1996.
- [13] G. Cena and A. Valenzano, "An improved CAN fieldbus for industrial applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 4, pp. 553-564, 1997.
- [14] I. Chamtac, W. R. Franta, and K. D. Levin, "BRAM: The broadcast recognizing access method," *IEEE Transactions on Communication*, vol. 27, no. 8, pp. 1183-1189, 1979.
- [15] R. P. Signorile, "MBRAM-a priority protocol for PC based local area networks," *IEEE Network*, vol. 2, no. 4, pp. 55-59, 1988.



이 경 창

1971년 5월 1일생. 1996년 부산대 생산 기계공학과 졸업. 동대학원 석사(1998년), 동대학원 박사수료(2001년). 1998년 ~ 현재 기계공학연구정보센터 전임연구원. 관심분야는 자동화용 네트워크(Profibus, Fieldbus Foundation,

Lonworks)의 설계 및 성능 평가, 지능 제어, 인터넷 기반 생산 시스템.



강 송

1973년 10월 30일 생. 1999년 동의대 기계공학과 졸업. 부산대 대학원 석사(2001년). 2001년 ~ 현재 다산인터넷 SI사업부 연구원. 관심분야는 자동화용 네트워크(Profibus, Fieldbus Foundation, Lonworks)의 설계 및 성

능 평가.



이 석

1961년 12월 11일 생. 1984년 서울대 기계공학과 졸업. 펜실바니아 주립대 석사(1985), 동대학원 박사(1990년). 1990년 ~ 1993년 신시내티 대학교 기계공학과 조교수. 1993년 ~ 현재 부산대학교 기계공학부 부교수. 관심분야

는 자동화용 네트워크(Profibus, Fieldbus Foundation, Lonworks)의 설계 및 성능 평가, 차량용 네트워크(CAN, LIN, KWP 2000)의 설계 및 성능 평가, DES, RP, 자율주행.



이 만 형

1946년 10월 18일 생. 1969년 부산대 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1971), 미국 오리건 주립대 전기·컴퓨터공학과 박사(1983). 1975년 ~ 현재 부산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 메카트로닉스, 비선형제어, 확

률제어, 파라메타 추정기법.