

실시간 산업환경을 위한 IEEE 802.11기반 가상 폴링 알고리즘 개발

박지훈, 하경남(부산대학교 지능기계공학과),
이경창(부경대학교 제어계측공학과), 이석(부산대학교 기계공학부)

Development of IEEE 802.11 based virtual polling algorithm for real time industrial environments

J.H.Park, K.N.Ha(Mechanical and Intelligent Systems Engineering., PNU), K.C.Lee(Department of Control and Instrumentation Engineering., PKNU) ; S.Lee(Mechanical and Intelligent Systems Engineering.; PNU)

ABSTRACT

This paper proposes an effective algorithm, P-DCF(Polling DCF) to satisfy real-time requirements in the industrial environments, based on 802.11 DCF protocols. Theoretical analysis and actual experiments are carried out, which shows that the proposed P-DCF brings several benefits: 1) it reduces the time delay for frame transmission 2) it guarantees bounded upper limit of maximum transmission delay 3) it maintains fairness

Key Words : IEEE 802.11, Polling algorithm, Performance evaluation, NDIS,

1. 서론

최근 들어 산업용 네트워크는 자동화 시스템을 구성하는데 있어 필수적인 요소가 되고 있다. 특히, 시스템이 대형화되고 지능화됨에 따라, 자동화 시스템에서 요구되는 센서나 구동기, 제어기와 같은 필드장치들의 수는 급속히 증가 되었다. 예로 항만이나 대규모 물류센터를 살펴보면, 컨테이너의 이동 및 적재에 사용되는 각종 크레인의 현황관리/통제를 효율적으로 달성하기 위해서 최근 활발하게 연구가 이루어지고 있는 크레인 자동 위치 인식 시스템(Automatic Position Identification System: APIS)의 경우에 작업자 및 관리자 모두에게 보다 정확한 위치 정보(Positioning) 및 주행 정보(Steering)등의 다양한 정보의 전달이 중요한 요소로 인식되고 있으며, 작업물의 이동을 원활하게 하기 위한 AGV(Automated

Guided Vehicle), UCT(Unmanned Container Transporter)와 같은 이동 장비들(mobile devices)이 광범위하게

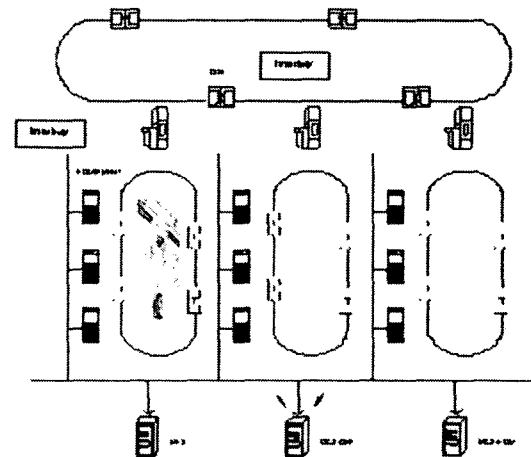


Fig.1. 반도체 공정에 사용되는 OHT 장비의 네트워크 구조도

사용될 수 있는 필수적인 요소로 산업용 네트워크에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

Fig.1 은 반도체 제조공정에서 반도체 웨이퍼들을 이동시키기 위하여 다수의 OHT들이 사용되고 있음을 보여주고 있는데, OHT들이 효율적으로 운영되기 위해서 작업 할당(task allocation), 경로 설계(path planning), 충돌 회피(collusion avoidance) 등과 같은 제어 기능들이 제어 센터에 필요하다. 이를 위하여, OHT와 같은 이동 시스템(mobile system)들 간의 정보 교환을 위해서는 무선 통신 네트워크를 필요로 한다.[1]

이러한 배경에서 최근에는, 정보 통신 분야에서 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11 (무선랜; LAN)[4]에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그러나 802.11은 매체 접속 제어(Medium Access Control, MAC) 방식으로 경쟁(Contention)에 기반을 둔 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance)를 사용하기 때문에, 네트워크에 참여한 스테이션이 전송을 위해서는 다른 스테이션과 경쟁을 통해 공유 매체를 점유 하는 절차를 수행하여야 한다. 이 때문에 네트워크에 트래픽이 증가하게 되면, 전송하고자 하는 데이터들이 일정한 전송 지연을 가지지 못하고 랜덤(Random)한 전송 지연을 가지는 전송 지연에 대한 불확실성 문제가 발생한다.

본 논문에서는 IEEE 802.11 을 산업용 네트워크에 적용함에 있어서 기존의 경쟁 방식이 아닌 폴링 알고리즘에 의해, 공유 매체 상에서의 충돌을 회피하여 불확실한 전송지연을 해결하고, NDIS(Network Drive Interface Specification)를 이용하여 OSI 7 계층 모델의 응용계층에서 직접 MAC 계층으로 접근하여 실시간 요구 조건을 만족하는 실험 모델을 구성하여 그 성능을 평가한다.

본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 IEEE 802.11 에 대한 설명을 하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 NDIS 와 가상 폴링 알고리즘에 대해 설명하며, 4장에서는 실험을 통한 성능을 평가하며, 마지막으로 5장에서 본 연구 결과를 요약한다.

2. Overview of 802.11

IEEE 802.11b의 MAC 계층에는 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)가 사용된다. 먼저, DCF는 기본 기능으로서, 매체 접속 방식으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 사용한다.

Fig.2 는 DCF의 작동방식을 나타내고 있다. 한 스테이션의 전송이 끝나고 나면, 전송할 데이터를 가지고 있는 근원지 스테이션(source station)은 DIFS (DCF interframe space) 시간을 기다린 후에 식 (1)과 같이 계산된 랜덤 백오프 시간(random backoff time, TRBT)동안 기다린다. 여기에서, uniform(0,CW)는 0에서CW 구간에서의 균일 분포(uniform distribution) 함수이며, Tst는 슬롯 타임(slot time)으로써, IEEE 802.11b에서는 20 μsec로 정의되어 있다.

$$T_{RBT} = \text{uniform}(0, CW) \times T_{ST}$$

$$\text{where } CW = 2^n - 1, \quad n = 3, 4, \dots, 8 \quad (1)$$

T_{RBT} 을 기다리고 나서, 근원지 스테이션은 전송 매체상의 사용 유무를 감지한다. 만약 전송매체가 사용 중이지 않으면, 근원지 스테이션은 RTS(Request To Send) 프레임을 목적지 스테이션(destination)으로 전송한다. 만약, RTS의 전송이 성공적으로 이루어지게 되면, 목적지 스테이션은 CTS(Clear To Send) 프레임을 근원지 스테이션으로 전송하고, 다른 스테이션들은 RTS에 기재된 현재 송수신 스테이션의 전송시간(duration)만큼 자신의

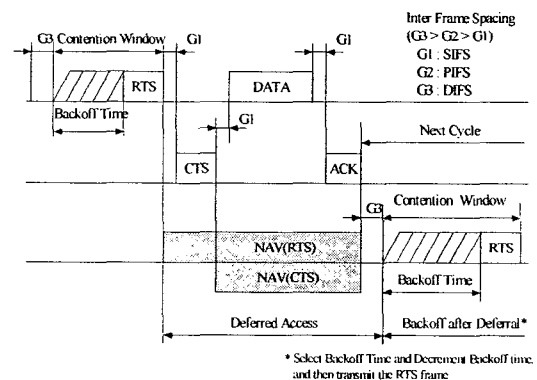


Fig.2. CSMA/CA and RTS/CTS

NAV(Network Allocation Vector)를 전송 중 상태(busy state)로 설정하고, 전송시간 동안 기다린다. 만약, T_{RBT} 을 기다리는 동안에 다른 스테이션의 RTS를 수신하면, 자신의 NAV를 전송 중 상태로 설정하고, NAV시간동안 기다린다. 이러한 전송 방법으로 인하여, DCF 기능은 RTS 프레임의 충돌만을 허용함으로써, 전송의 대다수를 차지하는 데이터 프레임의 충돌을 사전에 예방할 수 있다.

그러나 이러한 CAMA/CA 방식은 충돌을 기반으로 하기 때문에, 반복된 충돌에 따른 손실로 인하여 전송지연이 매우 크게 증가될 수 있고, 특히, 전송하고자 하는 데이터들이 일정한 전송 지연을 가지지 못하고 랜덤(Random)한 전송 지연을 가지는 불확실성 문제가 발생하므로 실시간 요구조건을 가지는 산업용 네트워크로 적용하기 위해서는 전송지연의 불확실성을 줄일 수 있는 알고리즘이 필요하다.

3. IEEE 802.11 based virtual polling algorithm

본 장에서는 IEEE 802.11 을 실시간 요구조건이 만족되어야 하는 산업용 네트워크에 적용하기 위해 NDIS(Network Drive Interface Specification) 를 이용하여 응용계층에서 직접 MAC 계층으로 접근하여 프로세싱 타임(Processing time)을 줄이고, CSMA/CA 기반의 경쟁 방식이 아닌 새로운 폴링 알고리즘을 제시하여, 불확실한 전송지연을 해결할 수 있는 가상폴링 알고리즘을 제안한다.

3.1 NDIS를 이용한 3계층 구조

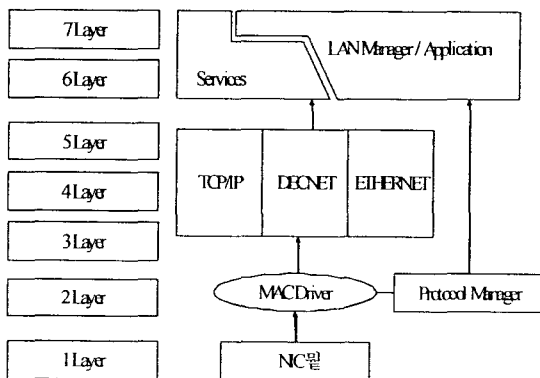


Fig.3. OSI 7 Layer와 NDIS Architecture

NDIS(Network Driver Interface Specification)는 Microsoft와 3COM에 의해 개발된 인터페이스 표준으로 데이터 링크층과 랜 접속 보드(NIC)와의 통신을 정의하는 인터페이스이다. NDIS는 2계층의 표준 Network Driver를 지원하여 3계층 이상의 Protocol Driver(TCP/IP, IPX/SPX등)가 하위 Network Driver의 종류에 상관없이 통신을 할 수 있는 호환성을 가지도록 하는 것이다. 따라서 NDIS를 이용한 Device Driver계층 프로그램은 Protocol Driver로 수신되기 전의 모든 원시 패킷에 접근할 수 있으며, 모든 랜 접속 보드는 이를 통해서 패킷을 생성 및 송신을 하게 된다.

본 논문에서는 NDIS를 이용하여 물리계층, 데이터링크 계층, 그리고 응용계층의 3계층만으로 통신 구조를 구현하였다. 이러한 향상된 구조를 이용한 가상 폴링 알고리즘을 통하여 전통적인 OSI 7 계층 구조가 가지는 단점을 극복할 수 있게 된다. 먼저 응용계층에서 생성된 데이터가 각각의 계층을 거쳐 하부로 내려가면서 데이터의 내용을 처리하기 위한 정보가 들어 있는 오버헤드(overhead)가 포함되는 과정을 줄일 수 있다. 그리고 실제 총 전송지연에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 프로세싱 타임(processing time)을 줄일 수 있게 되었다.

3.2 Virtual polling algorithm

본 논문에서 제안하는 가상 폴링 알고리즘의 전송절차는 Fig.4 에 나타난 상태도와 같이 표현할 수 있다. 먼저 폴링 마스터는 전원이 들어오면 초기화(Initialize 사건)를 거쳐 transmit poll 상태에 들어간다. 폴링마스터는 폴링 리스트에 기재되어 있는 순서대로 스테이션에게 폴 프레임을 전송하고(Send_Poll 사건), 각 스테이션들로부터 응답을 기다리는 wait frame 상태로 들어간다. 이후에 데이터를 받는 경우(Receive_Data 사건)에는 목적지 스테이션에게 데이터를 송신(Send_Data 사건)하고, ACK(Acknowledgements)을 받은 경우(Receive_ACK 사건)에는 다시 transmit poll 상태로 돌아가며, 일정 시간 동안 데이터나 ACK가 없을 경우(Timeout 사건)에는 재시도 회수를 증가 시키고 increment

retry_count 상태가 된다. 이때 재시도 회수가 Max.# 보다 많으면(Retry_count more than Max. No. of retry 사건) Delete message 상태가 되어 다시 재설정(reconfigure 사건)을 거쳐 transmit poll 상태로 진입한다. 만약 재시도 회수가 Max. No.보다 적으면(Retry_count less than Max. No. of retry 사건) 폴 재전송을 하고(Send_Repeated Poll 사건) 다시 wait frame 상태로 진입한다.

이와 같이 폴링 마스터가 전송권한을 부여함으로써 IEEE 802.11에 정의되어 있는 CAMA/CA 방식의 구현시 발생하게 되는 RTS/CTS 의 교환과정을 생략하게 되고, 반복된 충돌에 따른 랜덤(Random)한 전송지연이 아닌 확정적인 시간 지연을 보장하게 된다.

4. 실험을 통한 성능 평가

4.1 실험모델의 구현

제안하는 가상 폴링 알고리즘의 성능평가를 위해 구성된 실험모델에서는 8대의 스테이션과 1대의 폴링 마스터가 접속되어 있으며, 각 스테이션에는 11Mbps를 지원하는 Cisco Systems사의 AIR-CB21AG-W-K9 WLAN 카드가 장착되어 있으며, 가상 폴링 알고리즘은 Windows 2000 환경에서 NDIS 구조로 네트워크 프로그램을 이용하여 구현하였다. 실험에서, 스테이션은 각각 메시지 발생 주기를 30 msec, 25 msec, 20msec, 15msec, 10msec, 5msec 로 변경하면서 80byte 길이로 1000개의 메시지를 생성하여, 폴링 마스터로부터 폴을 수신하면

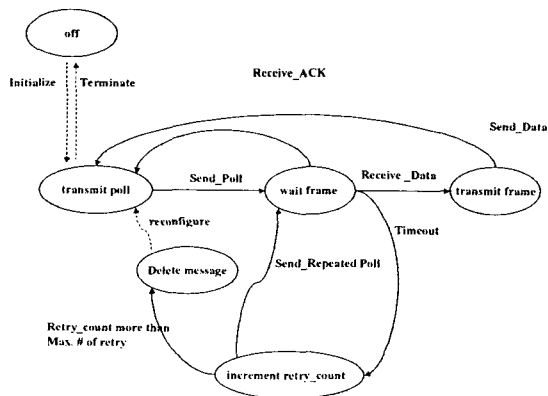


Fig.4. State diagram of virtual polling master

전송권한을 가지고 메시지를 전송한다. 성능평가를 위한 평가항목으로는 최대지연시간, 처리율, 요구조건을 고려하였으며 기존의 IEEE 802.11에서 정의하고 있는 CSMA/CA 방식인 DCF와 비교 하였다.

4.2 실험결과 및 성능평가

Fig.5. (a) 에서는 DCF 와 제안하고 있는 가상 폴링 알고리즘의 최대 전송 지연 시간을 보여 준다. DCF의 경우 메시지 발생 주기가 30msec에서 5msec로 점차 빨라질수록 평균 전송지연 시간도 기하급수로 급격하게 증가되는 것을 보여준다. 이는 메시지 생성 주기가 빨라짐에 따라 보다 많은 전송을 시도하고 이로 인한 경쟁이 늘어나면서 프레임의 충돌 횟수가 증가하여 랜덤 백 오프 시간이 증가하여 전송 지연이 급격하게 늘어난다는 사실을 보여 준다. 반면에 가상폴링 알고리즘의 경우 스테이션의 메시지 생성 주기가 변화하더라도 경쟁 방식이 아닌 폴링 마스터로부터 수신하게 되는 폴링에 의해 전송권한을 획득하게 되는 비경쟁 전송방식을 취함

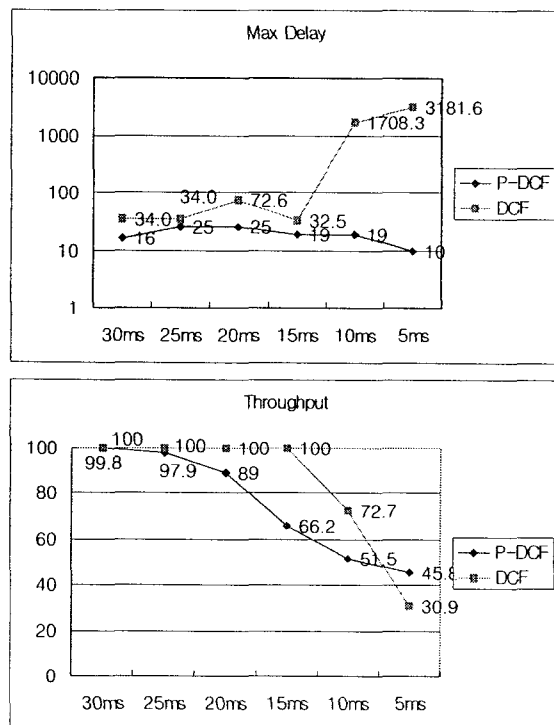


Fig.5. (a) Maximum transmission delay
(b) Throughput

으로써 비교적 일정한 전송지연을 보여주게 된다.

그러나 Fig.5. (b) 의 처리율의 경우에는 DCF 가 15ms 주기로 메시지가 생성될 때 까지도 비교적 만족스러운 처리율을 보여주다가 점차 하락하는데 비해서, 가상폴링 알고리즘의 경우 20 ms 주기 메시지 발생에서부터 처리율이 하락하고 있음을 보여주고 있다. 이는 가상 폴링 알고리즘의 프로그램 구현상에 있어서 최소 프로세싱 타임의 한계 때문에 폴링 주기를 15 ms 이하로 줄일 수 없었기 때문이다.

Fig.5. (c)의 실시간 요구 조건의 경우는 수신된 메시지 중에서 메시지 발생주기 안에 들어온 메시지의 개수로 평가된다. 산업용 네트워크에서와 같이 메시지의 정시성이 중요한 환경에서는 처리율보다 실시간 만족도가 더 중요한 성능지표로 나타난다. DCF의 경우 메시지 발생주기가 25ms까지는 90%이상의 메시지가 발생주기보다 빨리 전송되지만 20ms에서 부터는 불확정적인 충돌로 인하여 전체 메시지가 메시지 발생주기보다 늦게 도착하는 것을 알 수 있다. P-DCF의 경우는 전체 구간에서 수신된 메시지의 90%이상이 메시지 발생주기보다 빨리 전송이 되고 있다. 비록 Polling기법을 이용한 P-DCF가 DCF에 비해 처리율이 떨어지지만 수신된 메시지들은 메시지 발생주기보다 빨리 전송됨으로써 새로 생성된 제어정보가 더 효율적으로 수신측으로 전송될 수 있음을 보여준다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 IEEE 802.11을 산업환경에 적용하기 위해서 필요한 전송지연의 불확실성과 실시간

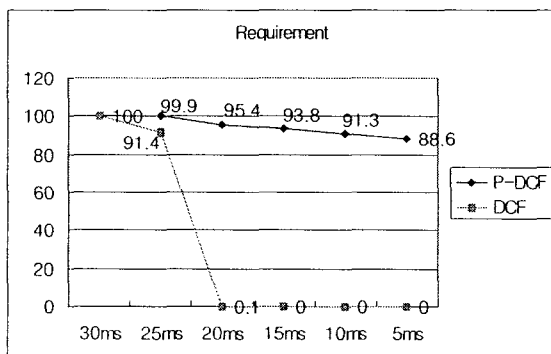


Fig.5. (c) Real-Time Requirement

성능을 개선하기 위해서 가상 폴링 알고리즘을 제안하였다. 기존의 CSMA/CA 방식에서 전송될 데이터의 수가 늘어남에 따른 충돌 확률이 증가하여 전송 지연이 늘어나고 불확정적인 전송 지연으로 인해 실시간 요구성능이 만족되어지지 않는 것을 극복하기 위해서 경쟁방식이 아닌 가상 폴링 방식을 제안하여 실험적 성능 평가를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다

802.11 기반의 가상 폴링 알고리즘을 적용하게 되면 충돌이 발생하지 않으므로 높은 트래픽(high traffic)조건에서 DCF 에 비해 양호한 전송지연을 가질 수 있으며, 폴링 주기에 따라 전송지연의 최대값이 보장되므로 DCF 가 가지고 있는 전송지연의 불확실성을 해결할 수 있다.

향후 남은 과제로는 폴링 알고리즘의 성능을 개선시키기 위한 최적의 폴링 주기를 선정하기 위한 다양한 실험을 수행해야 하며, 각기 다른 환경에서 허용되는 최대 전송지연 조건을 만족시키기 위해 다양한 모델을 통한 실험으로 검증하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. A. Ray, "Networking for computer-integrated manufacturing?" IEEE Network, vol. 2, no. 3, pp. 40-47, 1988.
2. M. Alves, E. Tovar and F. Vasques, "Evaluating the Duration of Message Transactions in Broadcast Wired/Wireless Fieldbus Networks", 27th IEEE Annual Conference of the Industrial Electronics Society, Dec., 2001, Denver, Colorado
3. D. A. Roberts, "'OLCHFA' a distributed time-critical fieldbus," IEE Colloquium on Safety Critical Distributed Systems, pp. 6/1-6/3, 1993
4. IEEE WG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE 802.11 Standard, 1999.