
무선 통신 기술의 산업기기 응용에 대한 고찰

문 상 국*

Consideration of Wireless Technology in Industrial Networks

Sangook Moon*

요 약

노트북, 휴대 전화기, PDA 등의 개인용 휴대기기가 무선 네트워크와 더불어 발전하면서 더더욱 크고 강력한 시장을 형성하고 있다. 이와 더불어, 무선 네트워크 간의 원활한 통신을 위하여, 각 응용 분야에 따라 학계에서의 적절한 표준 그룹이 완성되고 계속 발전되고 있다. 만일, 이 성숙된 무선 네트워크 기술이 산업 공장 단지의 기기들에 적용될 수 있다면, 케이블로 인한 공간 문제 해결, 기기 콘트롤러의 단순화 등 적용할 수 있는 장점이 무궁무진하다 할 것이다. 본 논문에서는 무선 채널과 무선 송수신기의 특성을 분석하고, 채널 속성에 영향을 받는 요인들을 파악하여 산업 무선기기간의 실시간 처리에 문제가 될 수 있는 이슈와 필드버스 통신의 근원적인 문제점에 대해서 분석한다.

ABSTRACT

With the success of wireless technologies in consumer electronics, standard wireless technologies are envisioned for the deployment in industrial environments as well. Industrial applications involving mobile subsystems or just the desire to save cabling make wireless technologies attractive. Nevertheless, these applications often have stringent requirements on reliability and timing. In wired environments, timing and reliability are well catered for by fieldbus systems. When wireless links are included, reliability and timing requirements are significantly more difficult to meet, due to the adverse properties of the radio channels. In this paper, we thus discuss some key issues coming up in wireless fieldbus and wireless industrial communication systems.

키워드

산업기기, 네트워크, 필드버스, 무선 시스템

I. 실시간 처리와 필드버스 통신의 근원적인 문제점

우선 특별한 무선기술에 의존하지 않는, 근본적인 무선 송신미디어의 특징에 대해서 설명한다. 어느 정도 설비가 갖춰진 유선 필드버스 시스템을 사용하고 있다는 가정 하에, 문제는 이 시스템에 무선 미디어를 적용함으

로 인한 주요한 어려움이 있는가에 대한 것이다. 아래 예시에서 보겠지만, 어떤 규약들은 실제로 문제점을 유발하는데, 특별한 예로 채널 에러에 대한 것이 있다 [1]. 아래에 필드버스 시스템에 적용되는 구조들을 살펴보고록 하겠다.

1.1. 채널의 속성으로 인한 영향

1) 일관성 문제 :

한 시스템이 WorldFIP [2] 에서와 같이 공급자-분배자-수요자 (producer-distributor- consumer) 전달 모델을 사용한다고 할 때, 통신 패킷 전달의 절차는 다음과 같이 전개된다. 승인되지 않은 데이터의 ID 식별자들이 분배자에 의하여 공중에 전파되고, 승인된 데이터를 가지고 있는 생산자는 이들을 향하여 실제 데이터 값들을 전파한다. 데이터에 관심이 있는 모든 수요자들은 수신된 값을 복사하여 내부의 링크 레이어 버퍼에 저장한다.

공간적 일관성이란, 예를 들어 여러 개의 (k개) 제어기가 하나의 공통된 프로세스로 동작하는 것을 들 수 있다. k만큼의 수요자들의 공간적 일관성을 (spatial consistency) 만족시키기 위하여, 각각의 k 만큼의 수요자들은 그 데이터 값을 모두 수신해야 한다. 만일 패킷이 하나라도 손실된다면, 이러한 공간적 일관성이 깨지게 된다. 또 다른 일관성으로는 상대시간적 일관성이 (relative temporal consistency) 존재한다.

2) 토큰-패싱 (token-passing) 프로토콜의 문제 :

PROFIBUS [3] 과 같은 필드버스 시스템에서는 다수의 컨트롤러들 사이에서 패킷 전달 구동할 권리를 공평하게 하기 위하여 분배 토큰 패싱 (distributed token passing) 방식을 사용한다. 이 다수의 컨트롤러들은 하나의 전파될 매체에 대해서 논리 고리 (logical ring) 을 이루고 있는데, 조사된 바에 의하면 PROFIBUS나 또 이와 비슷한 IEEE 802.4의 토큰 버스에 대하여, 토큰 패킷의 반복되는 손실은 위에 설명한 논리 고리의 안정성에 심각한 영향을 미친다.

토큰 패싱 프로토콜의 또 하나의 문제점은 토큰을 보내는 컨트롤러와 받는 컨트롤러들은 반드시 상호 통신이 가능한 지역적 범위 내에 위치해야 한다는 규정인데, 이는 컨트롤러들이 움직이게 된다면 항상 보장될 수는 없는 조건이다. 필드버스 프로토콜에는 이러한 이동성에 대한 대처방안이 없기 때문에 적절한 방안이 필요하다.

3) CSMA (Carrier-Sense Multiple Access) 방식에 의존하는 프로토콜에 대한문제 :

CAN [4] 과 같은 필드버스 시스템을 사용하는 방식에서는 CSMA 방식 프로토콜을 사용하는데, 이 방식에서

는 패킷 전송 시 충돌이 일어나기가 쉽다. 왜냐하면, 예를 들어 하나의 무선 스테이션 A에서 패킷을 보내기 원하는 경우, 전송 채널의 상황을 체크하면서 전송채널이 여유가 있는 것을 알게 되면, 바로 패킷을 보낸다. 이 상황이 A 뿐만 아니라, B 혹은 C 스테이션에서도 동시에 발생할 수 있기 때문에, 충돌이 발생할 수 있다. 유선 CAN 프로토콜은 이 충돌을 회피할 수 있는 결정 방식을 (deterministic mechanism) 사용하고 있지만, 무선 채널에서는 반양방성을 (half-duplex) 사용해야 한다는 제약조건 때문에 다른 대처방안이 필요하다.

1.2. 채널 에러에 대처하기 위한 방법

채널 에러를 극복하는 방법에는 패킷 재전송의 (retransmission) 유무에 따라서 열린루프 (open loop) 테크닉과 닫힌루프 (closed loop) 테크닉이 존재한다. [5,6] 필드버스 같은 시스템들은 패킷 브로드캐스팅의 장점을 극대화하기 때문에 패킷 재전송이 없고, 대신에 패킷에 FEC (Forward Error Check)와 같은 오버헤드 비트열을 전송함으로써 문제를 해결하고, PROFIBUS 같은 시스템들은 재전송을 사용하는데, 이 재전송은 패킷에 대한 비트열의 오버헤드가 없으며, 에러가 있는 경우에만 패킷을 재전송하는 장점을 가지고 있다. 재전송 프로토콜로는 ARQ (Automatic Repeat reQuest)를 사용한다.

1) 공간적 다양성 (spatial diversity) 활용 :

다경로 페이딩의 영향으로, 다수의 수신단이 있는 경우에는 수신 패킷 신호의 세기가 수신 지역마다 각각 다르게 된다. 이렇듯 지역에 따라서 채널의 상태가 다르기 때문에 공간적 다양성을 여러 면으로 활용할 수 있어야 한다.

열린루프 테크닉 중의 하나로, 수신 다양성 (receive diversity) 이라는 것이 존재하는데, 이는 수신단에 복수 개의 안테나를 설치하여 적절한 위치를 고려하여 배치하는 것인데, 하나의 안테나에 수신된 신호가 덩 패이드 상태에 있다면, 이는 신호 자체는 안테나에 감지될 정도의 충분한 세기를 가지고 있다는 것을 의미하기 때문에, 주변에 배치된 안테나 중에서 가장 강한 신호를 잡는 개념이다. 이와 비슷하게, 송신 다양성 (transmit diversity) 방식에서는 송신단에 복수 개의 안테나를 설치하여 패킷을 전송한다.

닫힌루프 테크닉에서는, 송신단에서 송신 안테나를

바꾸는 작업은 오직 재전송이 일어나는 경우에 국한된다. 첫 번째 재전송을 안테나 1번, 두 번째 재전송을 안테나 2번, 과 같은 식의 라운드 로빈 (round robin) 방식을 응용하여 공간 다양성을 이용한다. 실제 구현 시에는, 비용 절감이나 기타 다른 이유로 인해 송신단에 복수 개의 안테나를 설치하지 않고, 대신에 다른 스테이션에서 재전송을 도와주는 방식이다. 이렇게 다른 스테이션에서 패킷 재전송을 도와주는 방식을 협력 다양성 (cooperative diversity) 이라고 한다.

2) 혼성 (hybrid) ARQ 방식 :

혼성 ARQ 방식에서는 패킷 재전송과 에러 정정 코드 (FEC) 방식이 여러 가지 방법으로 조합될 수 있다. 타입 I 혼성 ARQ 방식에서는, 모든 패킷을 FEC 인코딩을 하고 항상 에러 정정 코드를 사용한다. 수신단에서 모든 비트의 에러를 정정하지 못하면, 수신단은 패킷을 버리고, 최대 시도 개수만큼의 패킷 재전송을 요청한다. 타입 II 혼성 ARQ 방식에서는, 에러가 발생한 패킷을 무조건 버리지 않고, 에러가 발생한 패킷 내의 정보를 차후의 재전송하는 패킷에서 에러를 교정할 수 있는데 활용한다. 타입 II 혼성 ARQ 방식의 예로는 비트 별 다수 투표 방식이 (bit-by-bit majority voting) 있다. 같은 패킷이 3번 재전송되면서 계속 에러가 나는 경우, 수신단에서는 에러가 생겨왔던 패킷의 비트들을 살펴보면 가장 가능성 있는 패킷을 유추할 수 있다. 이러한 방식은 패킷 재전송 한계 시간까지 온전한 패킷이 수신되지 못했을 경우에 패킷 정보의 값을 추정할 수 있는 수단이 된다.

3) 응용계층 (application layer) 메커니즘 :

패킷에 에러가 발생하는 경우를 하위 계층에서 모두 대처할 수 없는 경우가 발생한다. 예를 들어 굉장히 천천히 전달되는 주기적인 신호 샘플이 전송되는 경우, 수신단은 에러가 발생한 패킷을 그대로 받을 수밖에 없거나 혹은 에러를 숨겨야 하거나 추정값으로 대체시킬 수밖에 없는 경우가 생긴다. 이러한 임시 대처 방식으로 실제로 100개의 샘플 중 5개만을 가지고도 훌륭한 질의 신호를 복원해 내는 것이 실험적으로 증명되었다.

II. 산업 자동화를 위한 기존 무선 기술 고찰

2.1. 블루투스 (Bluetooth) 기술 / IEEE 802.15.1

블루투스 기술은 원래 케이블을 대용하기 위한 기술로, 특별한 노력을 들이지 않고 가전 기기 간 무선 연결을 하기 위해서 만들어진 임시 (ad-hoc) 네트워크 기반의 기술이다. 현재 주도하고 있는 그룹은 Sony, Nokia, Ericsson 외 여러 산업체를 포함한 SIG (special interest group) 이며, 빈도가 2.4GHz 의 주파수를 사용한다. [7]

블루투스 네트워크는 '피코넷' 이라는 조직을 기반으로 구성되며, 하나의 피코넷은 통신 초기화를 주도하는 하나의 마스터 (master) 디바이스와 최대 7개까지의 슬레이브 (slave) 디바이스들로 이루어질 수 있다. 슬레이브 디바이스들은 피코넷 내에서 오직 마스터 디바이스와 통신이 가능하다. 또한, 모든 블루투스 디바이스들은 동시에 4개까지의 피코넷에 속할 수 있으며, 마스터 역할을 여러 피코넷에 걸쳐서 할 수는 없다.

피코넷은 철저한 시분할 다중접속 (TDMA; time division multiple access) 방식으로 구성되며 정해진 타임 슬롯에 맞추어 송신/수신함으로써 양방향 통신을 구현한다 (half-duplex). 하나의 타임 슬롯은 625us이며, 이러한 구조에서는 마스터 디바이스는 항상 짝수 번째 타임 슬롯에서 송신을 시작하고, 슬레이브 디바이스는 항상 홀수 번째 타임 슬롯에서 수신한다.

피코넷 간에는 어떤 지정된 좌표계가 없기 때문에, 인접한 피코넷 간에는 패킷 충돌이 발생할 수 있다. 이 충돌로 인한 손실을 최소화 하기 위해, 표준에서는 2.4GHz 대역에서 1MHz을 기준으로 79개의 주파수로 빠르게 스위칭 하는 FHSS (frequency hopping spread spectrum) 주파수 호핑 방식을 사용한다. 호핑 순서는 각 블루투스 기기의 고유 주소와 표준에서 지정하는 알고리즘을 사용하여 계산되며, 하나의 패킷을 주고 받을 때마다 새로운 주파수가 할당되어 그 주파수로 다음 패킷을 송수신한다. 새로운 블루투스 버전 1.2에서는, 적응 주파수 호핑 (AFH; adaptive frequency hopping) 방식이 제안되어 패킷 전달에서 오류가 생긴 반송 (carrier) 주파수를 배제시킬 수 있어 오류를 최소화 할 수 있다. 이 AFH는 근접한 호핑 네트워크간의 효율을 높이는 것이라기보다는, 주변에 호핑하지 않는 다른 종류의 네트워크와 블루투스 네트워크가 인접해 있는 경우 네트워크 효율을 높이기 위한 목적으로 제안되었다.

블루투스 기술의 물리계층에서 아날로그 데이터는 GFSK (Gaussian frequency shift keying) 방식으로 변조되며, 송신 전력은 20dB 까지 이다.

데이터 패킷은 ACL (asynchronous connectionless), SCO (synchronous connection oriented) 두 종류가 있으며, 각각은 패킷 페이로드의 (payload) 길이와 내용에 따라서 ACL 패킷은 DH1, DH2, DH3, DM1, DM3, DM5 가 있으며, SCO 패킷은HV1, HV2, HV3 이라는 패킷들로 구성되어 있다. 또한, 버전 1.2에서는 음성 패킷의 성능 향상을 위한 eSCO (extended SCO) 패킷을 제공한다.

가장 최신 버전으로는 DQPSK와 8DPSK 변조방식을 도입한 버전 2.0이 있으며, 최신 버전에서의 데이터 전송률은 1.0에 비해 약 3배의 속도를 보인다.

2.2. IEEE 802.15.4

이 표준은 2003년 10월에 최종화 되었으며 라디오 네트워크의 물리 계층과 MAC (media access control) 계층의 특성을 정의한다. 이 표준이 제정된 목적은 무선 센서와 제어장치를 위한 특수한 요구사항을 충족하기 위한 저비용, 저전력 무선 통신을 구현하기 위해서이다. 블루투스나 무선랜과 대조적으로, IEEE 802.15.4의 네트워크에 소속된 디바이스들은 빈번한 통신을 목적으로 하지 않으며, 적은 양의 데이터를 비교적 긴 시간을 두고 전송한다는 특징이 있다 [8,9].

IEEE 802.15.4 표준의 주파수도 역시 비인가 주파수를 사용하는데, 블루투스나 무선랜과 마찬가지로 2.4GHz 대역에서 사용될 수도 있고, 유럽에서는 868MHz, 북미에서는 915MHz를 사용하기로 규정되어 있다. 이 주파수 밴드 내에서는 DSSS (direct sequence spread spectrum) 방식을 사용하여 최대 데이터 전송률은 2.4GHz의 단일 채널에서 250kb/s가 된다. 868MHz 대역이 사용될 때는 단일 채널로 데이터 전송률이 20kb/s, 까지가 가능하고, 915MHz 대역이 사용될 때는 10개의 채널로 채널당 40kb/s의 대역폭을 사용할 수 있다. 상위 레이어에서 특정한 채널의 전송률이 저하된다고 판단했을 경우, IEEE 802.15.4에서는 성능이 좋은 채널을 스캔 하여 그 채널로 옮겨 갈 수 있는 기능이 있다(868MHz 대역이 아닌 경우). 네트워크 디바이스는 두 종류로 나뉘는데, FFD (full-function device), RFD로 (reduced-function device) 각각 나뉜다. 각 주소는 64비트로 구성되어 있다.

블루투스와 비슷한 특징으로, IEEE 802.15.4는 낮은

전력 레벨을 사용한다. 또한, 패킷 심볼 전송 비율을 매우 낮추어, (최대 62.5 ksymbols/s) 산업지 공장에서 발생할 수 있는 지연시간에 대처할 수 있도록 한다.

2.3. IEEE 802.11

IEEE 802.11 표준은 주로 무선랜의 물리 계층과 MAC 계층에 대한 다수의 규약으로 이루어져 있다. 이 표준이 무선랜에 대한 표준이기 때문에, 주된 목적은 빠른 데이터 전송률과 끊임 없는 네트워크의 연결 지속 보존 여부가 된다.

IEEE 802.11 계열은 크게 a, b, g로 분류되며 각각의 파라미터들은 다음과 같다 [10].

- IEEE 802.11a : 5GHz 주파수대역을 사용하며 물리 계층은 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기본으로 한다. 7가지의 모드가 규정되어 있으며 6Mb/s ~ 54Mb/s 까지의 데이터 전송률이 가능하지만, 패킷의 길이에 따라서 데이터 전송률이 가변적이다.
- IEEE 802.11b : 원래 표준의 고속 확장 표준이며 DSSS를 사용하며 따라서 2.4GHz 주파수 대역에서 동작한다. 기본적인 1Mb/s ~ 2Mb/s 의 변조율을 지원하면서 추가적으로 5.5Mb/s ~ 11Mb/s의 CCK (complementary code keying) 변조 방식도 지원한다. 이상적인 최대 데이터 전송률은 7.11Mb/s 이다.
- IEEE 802.11g : IEEE 802.11b의 확장 표준이며 따라서 2.4GHz의 주파수 대역을 사용한다. 4 종류의 물리계층을 지원하면서 802.11b의 물리계층과 802.11a의 OFDM 물리계층은 필수적으로 지원한다. 최대 데이터 전송률은 54 Mb/s 가 된다.

블루투스나 802.15.4 표준과는 달리, 802.11 표준은 대용량 데이터 전송에 최적화 되어 있다. 이론적으로는, 무선랜 이동 디바이스만으로 ad-hoc 네트워크의 구성이 가능하지만, AP를 (access point) 통하여 모든 네트워크 구성 기기가 통신하는 구조가 가장 바람직하도록 설계가 되어 있다.

산업 기지에서 802.11을 사용하는데 있어서, 금속물 등과 같은 방해물의 영향과 20 dBm 이라는 비교적 큰 전력 소모 때문에 지연 전파를 (delay spread) 간과하지 않을 수 없다. 가령이나 사무실에서의 지연 전파가 50ns ~ 100ns 인데 비해서 산업 기지나 공장에서는 200 ~ 300ns 이다. 블루투스 같은 경우에는 소모 전력과 범위가 작고

좁기 때문에 별 문제가 되지 않지만, 무선랜에 있어서 이 점은 고려해야 할 사항이기 때문에 최근 무선랜 수신단의 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있는 추세이다.

2.4. 무선 기술의 공존 문제

가까운 미래에, 여러 무선 기술이 단일 작업 환경에서 사용되는 것이 일반화 될 것이다. 이러한 여러 무선기기들이 동일한 주파수대를 사용하지만 애플리케이션이 다른 별 문제 될 점이 없지만, 앞에서 살펴본 바와 같이 2.4GHz의 주파수 대역에서 블루투스, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11b를 포함한 여러 무선기기 표준이 정의되었다. 따라서 공존하는 네트워크의 성능과 문제점을 파악하고 상호간 간섭을 최소화 하는 방법을 소개해야 할 필요성이 대두된다.

IEEE 802.15.4 표준과 IEEE 802.11 간의 간섭을 해결하기 위해서는 CSMA가 고려될 수 있다. CSMA는 본질적으로 동일한 주파수 대역을 사용하는 다수 통신 시스템의 공유 환경을 개선하는 기술이어서, 반송파 탐지(carrier-sensing) 메커니즘을 어떻게 구현하느냐에 따라서 각기 다른 표준의 무선기기들 간 간섭을 해결한다.

블루투스 및 IEEE 802.11b를 해결하기 위한 방법으로, 블루투스 버전 1.2에서는 AFH 방법을 제안하여 IEEE 802.11b에서 사용하는 주파수를 피할 수 있도록 주파수를 제어하는 방법을 제시하였고, 또한 이전 버전에서 역방향 패킷(reverse link packet)을 전송하는 경우 주파수를 다르게 하여야 하는 제약이 있었는데, 이를 갖게 함으로써 주파수 충돌의 확률을 줄일 수 있다.

IEEE 802.15.4나 IEEE 802.11b 표준은 인위적으로 혹은 자동적으로 주파수를 조절할 수 있는 기능이 있기 때문에 이 두 표준 간에는 간섭이 일어날 가능성이 거의 없다고 학자들이 결론을 내렸고, 또한 IEEE 802.15.4는 매우 짧은 0.1%~1% 사이의 수행 사이클(duty cycle)을 가지기 때문에 더욱더 다른 디바이스들과 주파수 간섭을 일으킬 확률이 적다.

IV. 결론

무선 필드버스 시스템에 관련된 주제들을 선택하여 설명하였다. 무선 기술은 예를 들면 케이블을 사용하지 않음으로써 셋업 시간을 단축시키는 등 수많은 장점을 산업기기 응용에 적용시킬 수 있다. 기존에 개발된 시장

은 IEEE 802.11, IEEE 802.15.4, 또 블루투스와 같은 성숙된 표준이 존재하였지만, 이제까지는 무선 통신 기술이 산업 시설이나 공장에서는 사용되지 못해왔다. 그 이유는, 에러 발생의 가능성이 높은 무선 채널로의 제어 신호 발생 시간의 정확도와 데이터 패킷의 온전성이 보장되지 못해왔기 때문이다. 본 논문에서 살펴본 바와 같이, 전송 방식을 고려하여 기존의 시장에서 성숙된 무선 표준과 함께 적절한 프로토콜 메커니즘을 구상하면, 무선 기술을 산업기기 시설과 공장 시설에 적용할 수 있는 중요한 디딤돌을 만들 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] P. E. Rybski, et. al., "Performance of a distributed robotic system using shared communications channels," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol.18, no. 5, pp. 713 - 727, Oct. 2002.
- [2] General Purpose Field Communication System, EN 50170, Vol. 3: WorldFIP, Union Technique de l'Electricite, 1996.
- [3] General Purpose Field Communication System, En 50170, Vol. 2: PROFIBUS, Union Technique de l'Electricite, 1996.
- [4] ISO Standard 11898 -- Road Vehicle -- Interchange of Digital Information -- Controller Area Network (CAN) for High-Speed Communication, 1993.
- [5] J. D. Decotignie and P. Pleineveaux, "Asurvey on industrial communication networks," *Ann. Telecomm.*, vol. 48, no. 9, p. 435ff, 1993.
- [6] R. Zurawski, Ed., *The Industrial Information Technology Handbook*. Boca Raton, FL: CRC, 2005.
- [7] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 7, no. 1, pp. 28 - 36, Feb. 2000.
- [8] A. Lessard and M. Gerla, "Wireless communication in the automated factory environment," *IEEE Network*, vol. 2, no. 3, pp. 64 - 69, May 1988.
- [9] T. S. Rappaport, *Wireless Communications - Principles and Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002.
- [10] B. O'Hara and A. Petrick, *IEEE 802.11 Handbook - A Designer's Companion*. New York: IEEE Press, 1999.

저자소개



문 상 국(Sangook Moon)

1995 연세대학교 전자공학 학사
1997 연세대학교 전자공학 석사
2002 연세대학교 전자공학 박사
2002~2004 하이닉스반도체 선임연구원

2004~현재 목원대학교 전자정보보호공학부 조교수
※관심분야: 정보보호 VLSI 설계, Data encryption, 유비
쿼터스 컴퓨팅 보안