
산업기기 네트워크에서의 실시간 처리와 필드버스 통신의 문제점 분석

문상국

목원대학교 정보전자영상공학부

Problem Analysis of Real-time Transaction and FieldBus Communication in Industrial Networks

Sangook Moon

Mokwon University, School of Information-Electronics-Image Engineering

E-mail : smoon@mokwon.ac.kr

요 약

노트북, 휴대 전화기, PDA 등의 개인용 휴대기기가 무선 네트워크와 더불어 발전하면서 더욱 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

1. 서 론

우선 특별한 무선기술에 의존하지 않는, 근본적인 무선 송신 미디어의 특징에 대해서 설명한다. 어느 정도 설비가 갖춰진 유선 필드버스 시스템을 사용하고 있다는 가정 하에, 문제는 이 시

스템에 무선 미디어를 적용함으로써 인한 주요한 어려움이 있는가에 대한 것이다. 아래 예시에서 보겠지만, 어떤 규약들은 실제로 문제점을 유발하는데, 특별한 예로 채널 에러에 대한 것이 있다. 아래에 필드버스 시스템에 적용되는 구조들을 살펴 보도록 하겠다.

II. 무선 채널과 무선 송수신기의 중요한 특성

1) 경로손실 (path loss)

신호의 강도는 송신기와 수신기의 거리에 비례하여 감소하게 되고, 이를 '경로손실'이라고 한다. 경로손실의 크기는 안테나 기술, 사용된 주파수, 환경 등등에 좌우한다. 대표적인 경로손실을 추정하는 방법으로 로그-거리 (log-distance) 모델이 있다.

2) 송수신기의 반양방성 (half-duplex)

무선 송수신기는 같은 채널에 대해서 송신과 수신을 동시에 하지 못한다. 그 이유는 자신의 신호 자체가 오고 가는 신호의 세기를 압도할 수 있기 때문이다. 이 때문에 대부분의 무선 송수신기는 반양방성을 가지고 있다.

3) 물리 계층의 오버헤드

노이즈가 많은 무선 채널에서, 수신단에서 패킷의 캐리어나 비트의 싱크 패턴을 올바르게 수신하기 위해서 대부분의 무선 시스템에서는 수신 패킷 헤더 앞쪽에 프리앰블 (preamble) 이라고 불리는 특수한 비트열 (training sequence)이 삽입되어 있다. 반면에 유선 전송 미디어에는 이러한 패킷 판별을 위한 오버헤드가 적다.

4) 채널 에러

무선 송수신기는 파형 송신시 동시에 공중의 여러 방향으로 파형을 전파시킨다. 이 파형들은 반사, 회절, 분산 등의 영향을 받기 쉽게 된다. 이 영향의 결과로 원래 파형과 똑 같은 다수의 파형이 어느 정도의 시간 차이를 두고 수신단에 수차례 전달될 수 있다. 이러한 편차를 해결하기 위해서 보통 사용되는 방식은 제곱평균제곱근 지연전파 (root mean square delay spread; 줄여서 delay spread) 라는 방식이다. 이러한 시간 분산의 영향으로 생기는 채널 에러는 결과적으로 크게 두 가지의 중요한 문제점을 발생시킨다. 첫 번째, '소규모 페이딩 (small scale fading)' 혹은 다경로 페이딩 (multipath fading)으로 야기되는 수신단에서의 보강 혹은 상쇄 간섭이다. 특히 상쇄 간섭이 일어나는 경우는 딥 페이드 (deep fade) 상태에 있다고 말하며 이러한 경우에는 채널의 싱크 심볼을 디코드 하는데 에러가 발생할 확률이 더욱 높게 된다. 두 번째, 심볼간 간섭인데 (intersymbol interference; ISI), 시간에 대한 분산값이 커지는 경우, 다른 심볼에 속하는 파형들이 수신단에서 오버랩 되는 경우가 있기 때문에 이러한 경우에는 원래의 심볼을 복원하는 것이 요구된다.

II. 채널의 속성으로 인한 영향

1) 일관성 문제 :

한 시스템이 WorldFIP [1] 에서와 같이 공급자

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

공간적 일관성이란, 예를 들어 여러 개의 (k개) 제어기기가 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 [2] 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 대한 문제 :

CAN [3] 과 같은 필드버스 시스템을 사용하는 방식에서는 CSMA 방식 프로토콜을 사용하는데, 이 방식에서는 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.

II. 채널 에러에 대처하기 위한 방법

채널 에러를 극복하는 방법에는 패킷 재전송의 (retransmission) 유무에 따라서 열린루프 (open loop) 테크닉과 닫힌루프 (closed loop) 테크닉이 존재한다. 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 딥 페이드 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 살펴 보면서 가장 가능성 있는 패킷을 유추할 수 있다. 이러한 방식은 패킷 재전송 한계시간까지 온전한 패킷이 수신되지 못했을 경우에 패킷 정보의 값을 추정할 수 있는 수단이 된다.

3) 응용계층 (application layer) 매커니즘 :

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.

III. 결론 및 토의

산업용 응용 기기를 설계하는 데는 반드시 무선 채널의 영향을 고려하여야 한다. 유선 채널보다 무선 채널에서 결함 추정 (fault assumption) 보다 다양할 것이고, 유선 채널에서보다 무선 채널에서 에러가 더 자주 발생할 것이다. 하지만, 무선 채널에서의 전송 에러는 일시적인 (transient) 반면 (딥 페이드 상태로 갔다가 다시 채널 상태가 원활히 복구되는 경우), 유선 채널에서의 전송 에러는 치명적인 경우가 많다 (전선 결손, 하드웨어 부분 훼손). 이를 위해서 새로운 프로토콜 매커니즘이나 현재 프로토콜 매커니즘의 재구성이 필요하다고 할 수 있겠다. 또한, 설계의 어려움을 줄일 수 있도록 패킷 손실이나 패킷 전송 한계에 유연한 요구사항을 가지는 산업 응용 프로그램을 디자인하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] General Purpose Field Communication System, EN 50170, Vol. 3: WorldFIP, Union Technique de l'Electricite, 1996.
- [2] General Purpose Field Communication System, En 50170, Vol. 2: PROFIBUS, Union Technique de l'Electricite, 1996.
- [3] ISO Standard 11898 -- Road Vehicle -- Interchange of Digital Information -- Controller Area Network (CAN) for High-Speed Communication, 1993.