

# 산업용 유무선 혼합망에서 필드버스 성능향상 방안

## Performance Improvement Strategy for Fieldbus in Industrial Wired and Wireless Network

제정광, 전태영, 신용학

(Jung-Kwang Je, Tae-Young Chun, Yong-Hark Shin)

**Abstract** - FieldBus communication systems in industrial wired and wireless network may cause the degradation of the TCP performance due to the packet loss. TCP is particularly targeted at the wired networks, a packet loss is assumed to be caused by the network congestion. As a result, the performance of TCP decreases significantly when used over networks that exhibit a high bit error rate. In order to solve this problem, this paper designs and implements the WFSnoop mechanism which offers a fast local retransmission. The proposed mechanism does not require any changes in customer premises. Base on the simulation in the wired and wireless network environment, we analyzed the performance of the WFSnoop mechanism.

**Key Words** : 필드버스, TCP, Snoop, Wireless, EtherNet/IP

### 1. 서론

최근 산업 자동화 분야인 필드버스 시스템에서는 무선 통신 기술을 현장 기기에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 필드버스 시스템에 적용할 수 있는 무선 기술들로는 IEEE 802.11 무선랜 기술, IEEE 802.15.1의 블루투스 기술 등이 있는데 이들 무선기술들을 산업분야에 적용함으로써 얻을 수 있는 장점으로는 케이블로 인한 공간 문제의 해결 및 장치 제어기의 단순화 등이 있다[1]. 하지만 이런 무선 기술들을 공장 및 산업용 환경의 필드버스에 적용하기 위해서는 경로손실, 송수신기의 반이중 방식으로 인한 제한, 물리계층의 오버헤드 및 높은 비트 에러로 인한 성능저하 문제들을 해결해야 한다[2].

본 논문에서는 이런 문제들 중 TCP를 전송계층으로 사용하는 산업용 필드버스 시스템에 무선망을 적용했을 경우 발생하는 비트에러로 인한 성능저하를 극복하기 위해 WFSnoop(Wireless Fieldbus Snoop)을 제안한다. TCP는 전송 비트 에러에 의한 패킷 손실 확률이 매우 낮은 유선망을 대상으로 설계된 프로토콜이다. 그러므로 이를 유무선 통합 필드버스 환경에 적용할 경우 TCP 송신단은 무선망에서 발생한 전송 비트 에러로 인한 패킷 손실을 네트워크 혼잡에 의한 것으로 가정하여 송신단의 전송율을 낮추기 때문에 필드버스 처리율 또한 저하 되어진다.

WFSnoop은 이러한 무선망에서의 비트 에러로 인한 성능

저하를 방지하기 위해 기존의 대표적인 기법인 Snoop 프로토콜을 개선하여 TCP를 전송 계층으로 사용하는 산업용 필드버스의 성능을 향상시킨다. 즉, 산업용 유무선 혼합 필드버스 환경에서 기존 Snoop이 가지고 있던 지연시간을 최대한 감소시켜 처리율을 증가시키는 기법이다. 2장에서는 TCP를 전송계층으로 사용하는 대표적인 필드버스 프로토콜인 EtherNet/IP와 무선망의 손실 패킷 복구 기법인 Snoop에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 WFSnoop기법에 대해 기술하고 4장에서는 시뮬레이션을 통해 무선랜 환경에서의 성능 향상 정도를 확인한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 EtherNet/IP

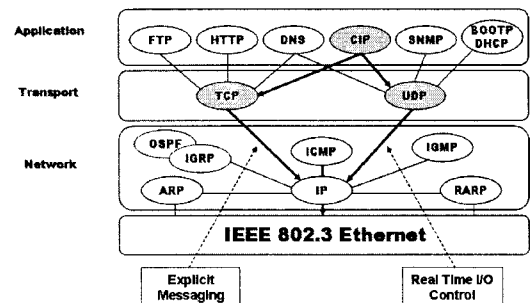


그림 1 EtherNet/IP 구조

EtherNet/IP는 TCP 및 UDP를 전송계층으로 사용하는 Ethernet 기반의 필드버스 프로토콜로서 OSI 7계층 중 4계층

#### 저자 소개

- \* 제정광: LS산전 중앙연구소 연구원
- \*\* 전태영: LS산전 중앙연구소 책임연구원보
- \*\*\* 신용학: LS산전 중앙연구소 책임연구원

까지 IEEE 802.3 표준을 그대로 따르고 있다. EtherNet/IP는 필드버스 상에 전송되는 데이터 타입에 따라 전송계층 프로토콜을 선택하여 사용한다. 그림 1은 EtherNet/IP의 프로토콜 구조를 나타내는데 실시간성을 요구하는 I/O 데이터의 경우 UDP를 사용하며 대용량의 신뢰성을 요구하는 데이터의 경우 TCP를 사용하여 데이터를 손실 없이 목적지 까지 전달한다 [3].

## 2.2 Snoop

Snoop 프로토콜은 유선과 무선 구간을 연결하는 Base Station에 Snoop 모듈을 두고 있으며 무선구간에서의 패킷 손실을 지역 재전송 기법으로 복구하고, 손실을 송신측에 감추므로 송신측이 혼잡 제어를 수행하지 않게 한다[4]. Snoop 모듈은 무선 단말기로 전송되는 패킷들을 버퍼에 저장하고, 무선구간에서 발생한 오류에 대해서는 지역적으로 재전송하여 손실을 복구한다. 또한, 재전송된 패킷에 대한 중복 응답들이 송신측에 전달되는 것을 억제하여 무선구간에서의 손실을 송신측에 숨긴다[5]. 또한, 단대단 의미구조를 유지하며 송수신단의 수정 없이 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 연속적인 비트에러가 발생했을 경우 중복응답 수신으로 인한 지연시간이 발생되어 처리율이 저하되어진다.

## 3. 제안 메커니즘

WFSnoop 기법은 처리율 및 지연시간이 성능의 중요한 지표인 산업용 유무선 혼합 필드버스 환경에서 기존 Snoop이 가지고 있던 지연시간을 최대한 감소시켜 처리율을 높이는 기법이다.

### 3.1 빠른 지역 재전송

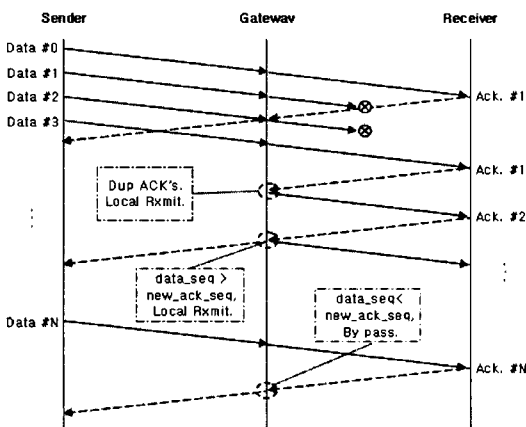


그림 2 제안된 기법의 기본 동작

기존 Snoop 기법은 무선망의 패킷 손실을 송신단에게 숨기므로 송신측의 혼잡제어를 방지하여 TCP의 성능을 향상시킬 수 있었다. 하지만 비트에러가 연속적으로 발생했을 경우 중복응답 패킷 수신 후 지역 재전송을 수행하는 동작 방식은

중복응답 패킷 수신이라는 불필요한 지연시간을 발생 시켜 손실 패킷의 복구시간이 늦어 질 수 있다. 또한 수신단에서 전송된 중복응답 패킷이 무선망의 비트에러로 인해 손실됐을 경우 손실 패킷의 복구 시간이 더욱 지연 될 수 있다. 제안된 기법은 손실 패킷 복구로 인한 지연 시간을 최대한 줄이기 위해 무선망의 연속된 패킷 손실을 감지했을 때, 그 후 수신된 새로운 응답 패킷에 대해서 모두 지역 재전송을 수행함으로써 중복응답 패킷 수신으로 인한 지연시간을 줄일 수 있다.

그림 2는 제안된 기법의 동작 방식을 떠나내고 있다. WFSnoop이 적용된 게이트웨이는 중복응답 수신으로 인해 연속된 패킷 손실을 감지하고 지역 재전송을 수행한다. 이때 송신단으로부터 전송된 마지막 데이터 패킷의 시퀀스 번호(data\_seq)를 기억한다. 지역 재전송 이후 수신된 응답 패킷은 시퀀스 번호의 비교로 연속된 패킷 손실로 인한 중복응답 패킷인지를 확인 할 수 있다. 먼저, 수신된 응답패킷의 시퀀스 번호(new\_ack\_seq)가 data\_seq 번호보다 낮은 경우, 연속된 패킷 손실로 인한 중복응답 패킷이라 간주하여 지역 재전송을 수행한다. 그리고 new\_ack\_seq가 data\_seq 보다 높은 경우 연속된 패킷 손실을 모두 복구 했다고 간주하여 이후에 수신된 새로운 응답패킷에 대해서는 지역 재전송을 수행하지 않는다. 그림 2에서와 같이 게이트웨이는 Data #1에 대한 중복응답 패킷이 수신되었을 경우 이후에 수신된 새로운 응답패킷의 시퀀스 번호를 비교한 후 손실된 패킷의 응답 패킷이라고 판단되면, 중복응답 패킷 까지 기다리지 않고 지역 재전송을 수행하고 있다.

### 3.2 유선구간 패킷 손실 복구

게이트웨이는 유선망에서 순서에 맞지 않는 패킷이나 손실된 패킷이 발생한 경우 지역 재전송을 수행할 수 없다. 또한 수신단에서 발생한 중복응답을 송신단으로 전달하지 않기 때문에 송신단의 RTO가 발생한 후에야 비로소 재전송을 수행할 수 있다. 그로인해 전체적인 데이터 전송율이 감소하게 되는데 이러한 문제점을 해결하기 위해 게이트웨이는 수신단으로부터 수신된 중복응답 패킷에 해당하는 데이터 패킷이 자신의 버퍼에 존재하지 않을 경우 유선망에서 발생한 손실 패킷이라고 판단한다.

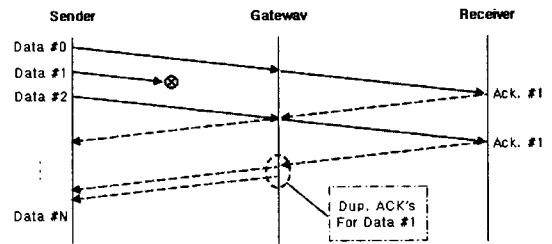


그림 3 유선구간의 패킷 손실 복구 동작

그리고 해당 중복응답 패킷을 생성하여 송신단으로 전송하여 송신단이 빠른 재전송을 수행할 수 있게 함으로써 RTO로 인한 전송을 감소를 방지할 수 있다.

#### 4. 성능평가

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 네트워크 시뮬레이터인 NS-2를 사용하여 유무선 혼합망 환경을 구축하였다. 시뮬레이터 버전은 2.28이며, 레드햇 9.0 기반의 팬티엄4 시스템에 설치하여 성능을 측정하였다.

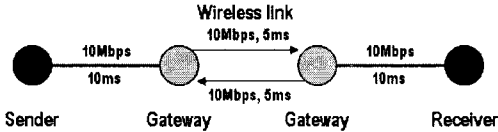


그림 4 시뮬레이션 환경

그림 4는 시뮬레이션에 사용된 유무선 혼합망 환경을 나타낸다. 두 라우터 사이의 구간을 무선 링크로 구성하였으며, 비트 에러로 인한 데이터 패킷 및 응답패킷의 손실이 발생하는 환경에서의 성능을 확인하기 위해 비트 에러가 없는 경우와  $10^{-8}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ 의 비트 에러율을 갖는 경우로 나누어 성능을 측정하였다. 제안된 기법은 무선망과 송신단이 존재하는 유선망 사이의 통신을 담당하는 게이트웨이에 적용되었으며 패킷의 크기는 각각 데이터 패킷 1460bytes, 응답패킷 40bytes로 설정하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 송신측과 수신측 사이에는 단일 TCP 연결이 주저였으며, 시뮬레이션 시간을 100초로 하여 총 50회 반복한 후 얻어진 결과들의 평균 값을 취하였다.

성능의 향상 정도를 확인하기 위하여 범용 TCP와 Snoop, 그리고 본 논문에서 제안하는 WFSnoop TCP의 성능을 측정하고 비교한다. 그림 5는 비트 에러율에 따른 각 기법별 TCP 처리량을 나타내고 있다. 범용 TCP의 경우 비트에러가 증가 될수록 성능이 큰 폭으로 감소하고 있음을 확인할 수 있는데 이는 무선망의 비트에러에 의한 패킷 손실로 송신단의 혼잡제어가 발생했기 때문이다.

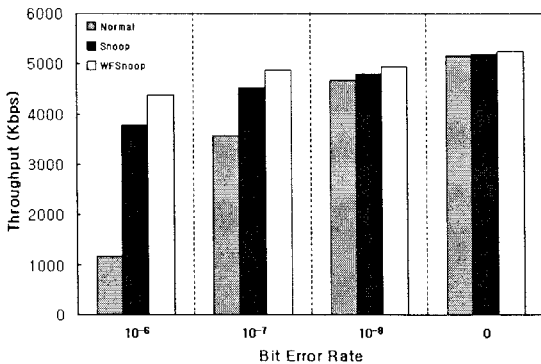


그림 5 범용, Snoop, WFSnoop의 TCP 성능

이에 반해 Snoop과 WFSnoop 기법을 적용시켰을 때에는 손실된 패킷을 게이트웨이에서 지역 재전송을 통하여 복구시켜 주므로 범용 TCP에 비해, 비트에러가 있는 환경에서 최

소 5%에서 최대 274%의 처리량 증가가 이루어 졌음을 확인할 수 있다. Snoop과 WFSnoop 사이의 처리량 차이를 살펴 보면, 비트에러가 없는 환경에서는 거의 동일한 성능을 보이는 반면 비트에러가 높은 환경에서는 WFSnoop가 16%에서 3% 더 높게 성능이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 무선망에서의 연속된 패킷 손실에 대해 빠른 지역 재전송을 수행함으로써 무선구간에서의 처리량을 더 높일 수 있기 때문이다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 TCP를 전송계층으로 사용하는 산업용 필드버스 환경에 무선망을 적용했을 경우 필드버스의 성능향상을 위한 WFSnoop 기법을 제안하였다. 기존 Snoop 기법은 비트에러가 연속적으로 발생했을 때 중복응답 패킷 수신 후 지역 재전송을 수행하는데 반하여 제안된 기법은 무선망의 연속적인 비트에러를 감지한 경우 중복응답의 수신 없이 빠르게 지역 재전송을 수행함으로써 중복응답 패킷 수신으로 인한 지연시간을 최대한 줄여 TCP의 성능을 향상시킬 수 있었다. 이는 지연시간의 최소화 및 높은 처리율을 요구하는 산업망에 있어서 알맞은 무선망 비트에러 복구 기법이라 할 수 있다.

제안된 기법은 TCP의 단대단 의미구조를 유지하고 송신단의 수정 없이 비트에러로 인한 성능저하를 방지할 수 있었고 시뮬레이션 결과 유무선 혼합망 환경에서 기존 Snoop에 비해 최대 16%의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 향후 연구로는 좀더 다양한 유무선 복합망의 특성을 적용하며 산업용 망에 무선 기술을 접목시킬 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Willig, et al., Wireless Technology in Industrial Networks, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 6, June, 2005.
- [2] Wireless Communication Alliance "Industrial Wireless" Communication Alliance, Retrieved Aug. 3, 2003, <http://www.wca.org/about.html>
- [3] Ethernet/IP Specification, Release 1.0, June 5, 2001, 2000, 2001 by ControlNet International and Open DeviceNet Vendor Association.
- [4] J. Hu, G. Feng, and K. L. Yeung, "Hierarchical cache design for enhancing TCP over heterogeneous networks with wired and wireless links," IEEE Transaction on Wireless Communication, vol. 2, no. 2, pp. 205-217, Mar. 2003.
- [5] Hari Balakrishnan, Srinivasan Seshan, Elan Amir Randy H. Katz. Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks, Proc. 1st ACM Conf. on Mobile Computing and Networking, Berkeley, CA, November 1995.