

VLBI 시스템 제어 및 모니터를 위한 멀티드롭 이더넷 기반 IoT 아키텍처 설계

송민규*

Multidrop Ethernet based IoT Architecture Design for VLBI System Control and Monitor

Min-Gyu Song*

요약

기존에 다수의 인스트루먼트에 대한 제어 및 모니터는 전문화된 영역으로 그 구현에 있어 고가의 전용 모듈을 필요로 하였다. 하지만 최근 임베디드 기술의 발전 속에 M&C(Monitor and Control)를 수행할 수 있는 다양한 제품이 출시되고, 적용 범위가 확대되고 있다. 이에 따라 예전에 비해 소규모의 M&C 환경을 보다 손쉽게 구축할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 별도의 하드웨어 제품을 통해 구현해야 했던 VLBI 시스템의 M&C를 저렴한 범용 임베디드 기술로 대체할 수 있는 방안에 대해 논하였다. 메모리 기반의 데이터 송수신 그리고 저장은 비단 VLBI 뿐만 아니라 네트워크 분야에서 일반화된 기술이고, 이더넷을 구성하는 일부 아이템을 VLBI(Very Long Baseline Interferometer) 시스템 환경에 맞게 최적화시킬 경우 보다 효과적인 M&C를 구현할 수 있다. 본 논문에서는 이에 대한 시스템 설계 및 구현 방안을 구체화하였다.

ABSTRACT

In the past, control and monitor of a large number of instruments is a specialized area, which requires an expensive dedicated module to implement. However, with the recent development of embedded technology, various products capable of performing M&C (Monitor and Control) have been released, and the scope of application is expanding. Accordingly, it is possible to more easily build a small M&C environment than before. In this paper, we discussed a method to replace the M&C of the VLBI system, which had to be implemented through a specialized hardware product, with an inexpensive general imbedded technology. Memory based data transmission, reception and storage is a technology that is already generalized not only in VLBI but also in the network field, and more effective M&C can be implemented when some items of Ethernet are optimized for the VLBI (Very Long Baseline Interferometer) system environment. In this paper, we discuss in depth the design and implementation for the multidrop based IoT architecture.

키워드

Multi-Drop Ethernet, M&C, VLBI Instrument, I2C
멀티드롭 이더넷, M&C, VLBI 계측기, I2C

* 교신저자 : 한국천문연구원 천문우주기술센터
• 접수일 : 2020. 10. 31
• 수정완료일 : 2020. 11. 23
• 게재확정일 : 2020. 12. 15

• Received : Oct. 31, 2020, Revised : Nov. 23, 2020, Accepted : Dec. 15, 2020
• Corresponding Author : Min-Syu Song
Technology Center for Astronomy and Space Science, Korea Astronomy and Space Science Institute,
Email : mksong@kasi.re.kr

I. 서론

여러 곳에 분산된 인스트루먼트를 제어하기 위한 방법으로 기존에는 RS-485 기반의 필드버스 기술이 널리 사용되었다. 하지만 네트워크 기술의 발전과 이더넷의 저변 확대 속에 지난 10여 년간 제조업 등에서 산업용 이더넷을 근간으로 하는 제어 인프라 구축이 급속도로 확대되었고, 향후 4차 산업혁명에서 그 비중은 더욱 커질 것으로 전망된다[1]. 반면 마더보드, 임베디드 시스템, 휴대폰 등 한정된 공간에서 저속의 주변 장치를 제어하기 위한 용도로는 MCU(Micro Controller Unit) 상에서 I2C(Inter Integrated Circuit), SPI(Serial Peripheral Interface) 기반의 통신을 구현하는 방식이 널리 쓰이고 있다[2].

제조업 분야에서 필드버스, 산업용 이더넷은 분산된 인스트루먼트를 효과적으로 제어할 수 있는 기반 기술로 인식되고 있으며, 기초과학 분야에서도 연구시설의 운영, 관리에 일부 활용되고 있다. 특히, 광범위한 현장에서 다수의 프로세스를 효율적으로 운용하고 각 인스트루먼트에 대한 엄격한 시간 결정성을 지원하는 장점으로 인해 ProfiNet, Ethernet/IP, EtherCat 등의 산업용 이더넷은 최상의 옵션 중 하나로 인식되고 있다[1,3]. 문제는 이들 기술이 광범위한 산업현장, 대량의 인스트루먼트 제어에 최적화되어 있지만 모든 분야가 이러한 수준의 성능과 규모, 확장성을 필요로 하지는 않는다는 점이다. 한 예로, 전파천문학의 한 형태인 초장기선전파관측계 VLBI에서 안테나, 수신기 제어에 필요한 인스트루먼트의 수는 보다 제한적이고 사이클 타임 면에 있어서도 한결 여유로운 속성을 갖는다[4,5]. 이러한 측면에서 기존의 필드버스와 산업용 이더넷은 월등한 성능과 안정성을 보장하지만 오버스펙에 해당하는 것이 현실이고 모듈 구매에 상당한 비용이 소요되는 점을 고려하면 경제성은 낮다고 할 수 있다.

반면 MCU를 탑재한 임베디드 시스템 및 각종 보드, 시스템 박스의 경우 내부의 칩 또는 디바이스 제어를 위한 목적으로 I2C, SPI가 널리 사용되고 있다[2]. 하지만 이 두 프로토콜은 앞서 기술하였듯이 애초 저속의 주변장치를 제어할 목적으로 개발됨에 따라 malloc 함수 등을 이용한 동적 메모리 할당이 미흡하고 마스터와 슬레이브 간 다량의 데이터 송수신

에 근본적 한계가 있다. 무엇보다 거리에 따른 잡음 특성에 취약하고 아날로그, 디지털 등에서 처리해야 할 입출력 포트가 늘어날 경우 효율적인 확장이 불가능하다[6].

이에 따라 본 논문에서는 각 VLBI 사이트의 전파 망원경과 수신기를 통해 입력되는 아날로그 형태의 전파 신호가 각종 인스트루먼트, 디바이스에서 보다 효율적으로 처리될 수 있도록 지원하는 IoT(Internet of Things) 네트워크 설계와 데이터 처리 방안을 논하고자 한다. 이를 위해 수신기실 내에서 각 VLBI 보조 시스템의 특성, 요건을 반영하여 차별화된 M&C가 구현될 수 있도록 이더넷 일부 계층의 기능 개선은 물론 버스 형태의 이더넷 회선 연결을 제안하였다.

본 논문은 다음의 순서에 따라 작성되었다. 서론에 이어 2장에서 기존 방법의 문제점에 대해 진단하였고 3장에서 해당 문제점의 해결을 위한 IoT 아키텍처를 설계하였다. 4장에서는 설계된 아키텍처를 기반으로 세부 작동 원리와 동작 메커니즘에 대해 기술하였고 5장에서 결론과 함께 향후 계획에 대해 논하기로 한다.

II. 기존 방법의 문제점

시스템 자동화를 구현하기 위해 기존에는 마스터와 통신하는 각 슬레이브 모듈을 일종의 데이터 체인 형태로 연결하는 기법이 주로 사용되었다. 하지만 이 방식에서 마스터에 인접한 모듈은 매번 불필요하게 트래픽이 몰리고 중간 모듈에 이상이 발생할 경우 후단에 위치한 모듈과의 통신이 불안정해지는 문제가 있었다[7]. 또한 모듈이 고가임에 따라 이를 이용한 M&C 구현에 적지않은 비용이 소요되고 가격 대 성능 측면에서 효율적이지 못하다는 점도 극복해야 할 과제 중의 하나였다.

한편, VLBI 등 천문학 분야의 경우 수신된 신호의 처리 과정에서 다수의 인스트루먼트가 수반되는데 한정된 수신기실 내의 운용 효율 개선을 위해 각 모듈 간 연결은 데이터 체인으로 구성되어 있다. 문제는 현재 RS-485 통신을 수행하지만 향후 이를 이더넷 기반으로 전환하더라도 연결 구성은 데이터 체인으로 유지될 가능성이 대단히 높다는 사실이다. 이더넷에서

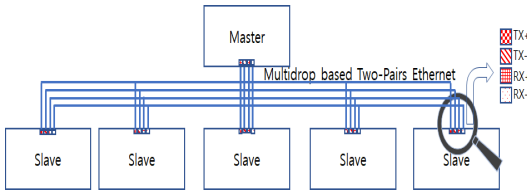


그림 1. 멀티드롭 이더넷 기반의 시스템 연결
Fig. 1 Multidrop Ethernet based System Connection

프레임 충돌없이 데이터를 송수신할 수 있는 시스템은 오직 단 하나로 제한된다[8]. 이는 이더넷의 작동 원리가 네트워크 상에서 송수신 프레임을 감시하고 충돌 발생 시 프레임 대기, 전송을 반복하는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 프로토콜에 기반하기 때문이다. 이러한 구조 하에서 현재 시판 중인 대부분의 산업용 이더넷은 LLDP(Link Layer Detect Protocol) 적용을 통해 데이터 체인으로 구성된 각 시스템 간 데이터 통신을 유도하고 있다. 이 방식 하에서 각 모듈에는 2포트 스위치가 내장되며 모듈 내부의 스위칭 방식으로 오직 단 하나의 호스트만이 데이터를 전송할 수 있다[9]. 이는 달리 말하면, 각 인스트루먼트를 공통의 버스, 즉 멀티드롭 방식으로 이더넷 구성을 하더라도 통신 과정에서 충돌이 발생하지 않음을 전제한다면 산업용 이더넷에 버금가는 성능과 안정성을 구현할 수 있음을 시사한다.

시스템 제어 및 모니터링을 위해 소규모 네트워크를 구축하고 그 상위 계층에서 특화된 애플리케이션을 실행하는 과학연구 분야는 산업현장에 비해 다루

는 인스트루먼트의 개수와 거리가 소규모로 한정된다. 한 예로, VLBI를 연구하는 KVN(Korean VLBI Network)에서 각 대역별 전파신호를 필터링하여 입력받는 수신기의 경우 제어, 모니터링해야 할 인스트루먼트의 개수는 15개 내외에 불과하고 통신 속도는 1.5Mbps로도 충분하다[4]. 또한 총 회선 길이가 50m를 넘지 않는 단거리 특성으로 안정적인 트래픽 송수신이 가능하다. 따라서 마스터, 슬레이브 간 프레임 충돌이 억제되고 각 슬레이브의 입출력 정보가 마스터 상에서 일정하게 관리될 수 있다면 필드 버스, 산업용 이더넷 등 고가의 모듈을 사용하지 않고도 기존의 M&C를 기능적으로 구현할 수 있다.

이더넷은 구조적으로 스위칭 허브 또는 스위치를 경유한 스타 형태의 연결을 지향하며, 각 호스트 간 통신은 점대점(Point-To-Point) 방식으로 수행된다[8]. 따라서 밀폐된 공간에 배치된 인스트루먼트의 경우 기존의 방식으로 모듈 간 연결을 구성하게 되면 케이블 결선이 대단히 복잡해지고, 유지 관리의 효율성은 기대할 수 없다. 하지만 공통된 버스에 다수의 호스트가 연결되고 데이터 송수신에서 충돌을 배제할 수 있다면 실험실 영역에서 매우 효과적인 IoT 구축 방안이 되기에 충분하며, 사용자에게 여러 이점을 제공할 수 있다. 한 예로, 아두이노, 라즈베리파이 등의 임베디드 시스템을 활용하여 협소한 샤시 공간 내에 M&C 모듈을 효과적으로 배치할 수 있고 정리된 배선으로 관리 효율성 역시 극대화시킬 수 있다.

III. 시스템 설계

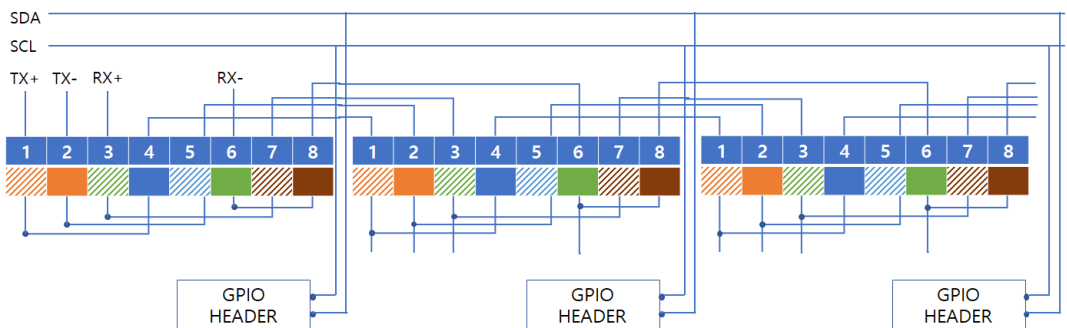


그림 2. 멀티드롭 방식에서 마스터 - 슬레이브 간 순차적 데이터 송수신을 위한 회선 구성
Fig. 2 Line Configuration for Sequential Data Transmission / Reception between Master and Slave in Multidrop method

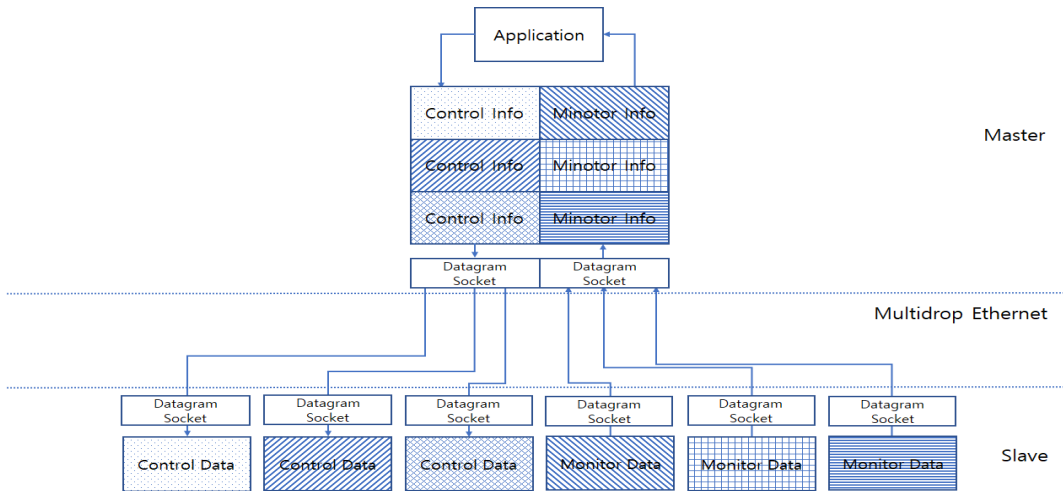


그림 3. 마스터 메모리와 슬레이브 레지스터 간 이더넷 프레임 송수신을 통한 인스트루먼트 제어 및 모니터링

Fig. 3 Instrument Control and Monitoring through Ethernet Frame Transmission / Reception between Master Memory and Slave Registers

2장에서 기술한 문제점을 극복하기 위해 본 장에서는 버스 형태의 이더넷과 저렴한 임베디드 기반 소프트웨어 기술의 장점을 결합한 새로운 IoT 아키텍처 설계 방안에 대해 기술하고자 한다. VLBI 수신기 시스템에서 IoT를 구성하는 타겟은 M&C 수신기의 원활한 작동을 보조하는 인스트루먼트이다. 따라서 각 인스트루먼트의 제어 및 정보 획득을 위한 별도의 모듈이 배치되어야 한다. 먼저, 이에 대한 간략화된 구성을 도식화하면 그림 1와 같다.

공통의 회선에 연결되는 모듈은 기능적으로 마스터와 슬레이브로 분류되고, 보다 구체적으로는 2개의 마스터(제1 마스터, 제2 마스터)와 그 밖의 슬레이브로 세분화된다. 마스터를 포함한 각 모듈은 송신 2단자(TX+/TX-), 수신 2단자(RX+/Rx-)를 입출력 인터페이스로 삼아 공통 회선에 멀티드롭으로 연결된다. 4가닥으로 구성된 버스에서 각 모듈 간 M&C 정보가 전달되고 이더넷 통신이 이뤄짐에 따라 본 논문에서는 그림 1의 연결을 Two-Pair Ethernet으로 명명한다. 해당 구성 하에서 마스터는 사용자 터미널에서 전달된 명령과 슬레이브로부터 전달된 데이터를 처리 및 반환하고 각 모듈의 입출력 정보를 메모리 상에서 총괄 관리한다. 슬레이브는 인스트루먼트와 물리적으로 연결되고 M&C 네트워크의 엔드단을 구성하는 사

용자, 인스트루먼트 간 제어/모니터 정보는 각 모듈의 메모리를 경유하여 입출력 전달된다.

VLBI 관측에서 안테나, 수신기 시스템에 대한 제어는 모터 등 산업현장의 구성요소와 달리 고속의 데이터 통신 및 시간 결정성을 필요로 하지 않는다[4]. 따라서 패스트 이더넷(Fast Ethernet) 기반으로 회선을 구축하더라도 아무런 문제 없이 IoT를 구현할 수 있다. 이에 착안하여 본 논문에서는 데이터 송수신에 필요한 2페어를 제외한 나머지 2페어를 멀티드롭 회선 구축을 위한 용도로 지정하였다. 이를 위해 본 논문에서는 산업용 이더넷에서 마스터 - 슬레이브 간 연결에 UTP 포트 2개를 사용하던 기존의 방법에서 벗어나 1개의 UTP 포트를 기반으로 모듈 간 연결을 구성하였다. UTP 케이블 8가닥 중 실제 통신에 사용되는 회선은 송신용으로 1/2번, 수신용으로 3/6번 페어이다. 4, 5, 7, 8번 유휴 회선은 각 모듈의 보드 상에서 이와 점퍼링되어 다음 주소의 슬레이브를 위한 송수신 회선으로 인입된다.

멀티드롭 네트워크 환경에서 각 슬레이브가 마스터와 1 대 1 통신을 수행하기 위해서는 각 슬레이브 모듈의 네트워크 인터페이스가 순차적으로 활성화될 필요가 있다. 사용자, 인스트루먼트 간 제어 및 모니터링 데이터가 송수신되는 이더넷 회선 뿐 아니라 본 논문

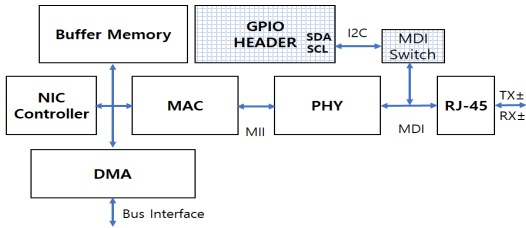


그림 4. 프레임 송수신을 위한 네트워크 관련 유닛 구성

Fig. 4 Ethernet related Unit Configuration for Frame Transmission / Reception

에서는 네트워크 상에서 프레임 충돌없이 데이터 통신이 이뤄질 수 있도록 각 모듈의 네트워크 인터페이스를 제어하는 별도의 회선을 구성하였다. 그림 2는 이를 도식화한 것으로 각 슬레이브의 GPIO (General Purpose Input/Output)헤더에서 SDA(Serial DATA), SCL(Serial CLock) 단자가 공통으로 연결되며, 제 1 마스터는 해당 회선을 경유해 각 슬레이브와 I2C 기반으로 통신한다.

인스트루먼트 제어 및 모니터링을 구현함에 있어서 마스터의 메모리는 해당 입출력 데이터를 저장하는 공간으로 활용된다. 이와 관련한 시스템의 작동 기제를 요약하면 먼저 사용자로부터 입력된 제어 정보는 마스터의 메모리 출력부에 저장된 후 슬레이브 모듈로 전달되는 순서로 인스트루먼트 제어에 관여한다. 이와 유사하게 슬레이브 모듈에서 전송된 각 인스트루먼트의 모니터 정보는 멀티드롭 이더넷을 경유해 마스터의 메모리 입력부에 저장되고 추후 사용자가 해당 데이터에 접근하는 형태로 전달된다. 프로그램 구현에 앞서 이에 대한 아키텍처 설계를 위해 본 논문에서는 마스터, 슬레이브 간 UDP 기반의 소켓 통신으로 데이터가 송수신될 수 있도록 하였고, 다량의 프레임 송수신 과정에서 슬레이브의 안정성을 위해 임베디드 리눅스가 탑재된 라즈베리파이를 기본 플랫폼으로 채택하였다. 각 슬레이브의 네트워크 인터페이스는 그림 2의 결선 하에 I2C 통신에 의해 활성화되고 멀티드롭 환경에서 각 슬레이브가 차례대로 마스터와 통신을 수행함에 따라 프레임 충돌은 사전에 억제된다.

MCU, MPU가 탑재한 임베디드 시스템은 주변 장치의 M&C에 필요한 인터페이스로 GPIO(General

Propose I/O)를 제공한다. GPIO 통신은 레지스터에 대한 입출력 방식으로 작동한다. 따라서 각 모듈에서 mmap 함수를 호출하여 /dev/mem 파일을 경유한 레지스터 제어를 구현할 수 있다[10]. 관련하여, 각 슬레이브 모듈의 메모리에 매핑된 레지스터 정보를 소켓 인터페이스를 통해 서버 측에 전송할 경우 인스트루먼트의 상태를 실시간으로 파악하는 것이 가능하다. 반면 마스터 상의 메모리 출력부에 저장된 데이터를 소켓 인터페이스로 슬레이브의 메모리에 저장하게 되면 이에 매핑된 레지스터가 갱신되고 인스트루먼트를 제어할 수 있다.

본 논문에서는 IoT의 구현에 있어서 중앙에 위치한 마스터의 메모리 세그먼트와 네트워크에 분산된 각 슬레이브의 레지스터 간 지속적인 데이터 교환, 업데이트를 지향한다. 그림 3은 이를 구체화하기 위한 시스템 설계 및 데이터 흐름을 도식화한 것이다. M&C 수행 과정에서 사용자와 인스트루먼트에 의해 발생하는 제어 및 모니터 정보는 일차로 마스터 메모리와 슬레이브 레지스터에 각기 저장된 후 멀티드롭 이더넷 상에서 UDP 기반 이더넷 프레임 형태로 상대

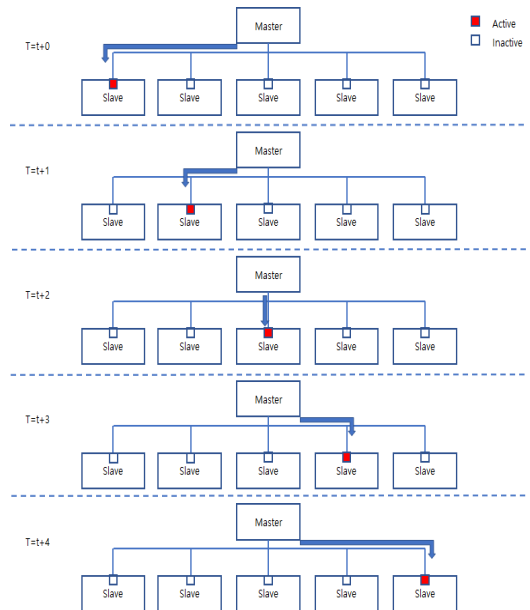


그림 5. 멀티드롭 이더넷 기반의 네트워크 환경에서 마스터-슬레이브 간 점대점 통신 절차

Fig. 5 Point-to-point Communication Procedure between Master and Slave in MultiDrop Ethernet based Network Environment

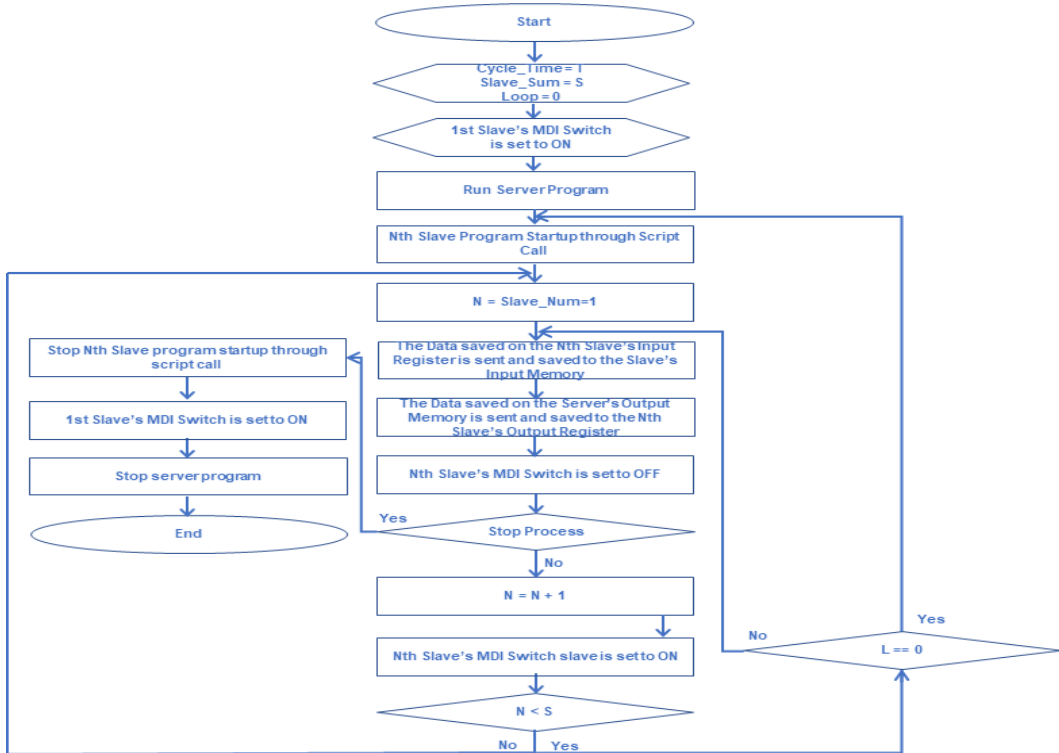


그림 6. 슬레이브 모듈 상의 MDI 스위치 제어에 의해 수행되는 서버와 슬레이브 간 데이터 송수신 절차 흐름도

Fig. 6 Flow Chart of Data Transmission / Reception between Server and Slave performed by MDI Switch Control on Slave Module

편에 전송된다. 마스터가 중앙에서 여러 슬레이브를 관리하고 실시간 업데이트 정보를 저장하기 때문에 마스터 메모리는 각 슬레이브의 레지스터 크기에 비례하여 구획될 필요가 있다. 이는 malloc 함수를 이용한 마스터의 메모리 할당 초기화 과정에서 각 슬레이브의 정보가 담긴 구조체 정보를 참조하도록 하였다. 버스 형태의 멀티드롭 이더넷에서 그림 3의 메커니즘이 정상적으로 작동하기 위해서는 각 슬레이브의 네트워크 접속, 데이터 송수신이 순차적으로 이뤄져야 한다. 이를 위해 각 슬레이브가 충돌없이 마스터에 접근하는 것이 대단히 중요하다. 본 논문에서는 이를 구현하기 위한 방안으로 각 슬레이브 모듈에서 PHY와 RJ-45 단자 간 MDI(Medium Dependent Interface) 인터페이스의 활성화를 제어할 수 있도록 모듈을 구성하였다.

이더넷 프레임 송수신은 OSI 7계층에서 물리 계층,

데이터링크 계층과 연관된다. 이에 해당하는 PHY, MAC 유닛을 각 슬레이브에서 순차적으로 활성화시킬 경우 가상의 독립된 회선이 수립되고 마스터와의 통신이 가능하다. 그림 4는 멀티드롭 기반의 1 대 N 회선 구성에서 각 슬레이브가 충돌없이 마스터와 순차적인 프레임 교환이 이뤄질 수 있도록 내부 이더넷 유닛을 기능별로 세분화한 것이다. 각 슬레이브 모듈의 이더넷 인터페이스는 RJ-45 단자를 통해 멀티드롭 이더넷에 물리적으로 연결되고, OSI7 모델에서 물리, 데이터 링크 계층에 해당하는 PHY, MAC 및 이를 통제하는 NIC Controller에 의해 프레임을 송수신한다. DMA는 호스트 메모리에 대해 이더넷 프레임을 입출력하는 인터페이스로서 역할을 하며, 버퍼 메모리는 해당 프레임을 외부 네트워크에 송수신하기 위해 잠시 대기시키는 공간에 해당한다[11]. 기존의 이더넷 인터페이스와 차별화되는 요소로 MDI Switch가 있는

데 이는 PHY와 RJ-45간 연결을 개폐하는 기능을 담당하며, 라즈베리파이 기반 MPU는 I2C 통신으로 이를 정밀히 제어한다. 물리적으로는 마스터와 슬레이브가 1대 N 멀티드롭 형태로 연결되어 있지만 MDI Switch를 통해 매 순간마다 마스터와 통신하는 슬레이브는 오직 1대로 제한시킬 수 있다.

그림 5는 이에 대한 동작 메커니즘을 도식화한 것으로 임의의 t+0 시각에 네트워크가 활성화된 첫 번째 슬레이브만이 마스터와 통신하고, 나머지 슬레이브는 모두 비활성화된다. 일정한 시간 경과하여 t+1이 되면 두 번째 슬레이브가 활성화되어 마스터와 통신한다. 마스터는 마지막 슬레이브까지 이러한 동일 절차에 따라 각 슬레이브와 순차적으로 연결되어 데이터를 송수신하는 형태로 각 인스트루먼트에 대한 M&C가 이뤄지고, 모든 슬레이브가 처리되면 다시 첫 번째 슬레이브와 연결되어 위 과정을 반복한다.

IV. 데이터 입출력 동작 메커니즘

3장의 시스템 설계에 따라 각 슬레이브는 순차적으로 활성화되어 마스터와 점대점 통신을 수행하며 네트워크 상에서 프레임 충돌 없이 원활한 데이터 송수신이 이뤄지기 위한 절차를 그림 6과 같이 순서도로 정리하였다. 마스터, 슬레이브 간 통신 초기 첫 번째 슬레이브를 제외한 각 슬레이브의 MDI 인터페이스는 비활성화 상태로 설정된다. 따라서 제2마스터로서 첫 번째 슬레이브를 제외한 타 슬레이브의 네트워크 접속은 차단되고 마스터는 오직 첫 번째 슬레이브와 단독 연결되어 데이터 통신이 이뤄진다. 데이터 전송 후 일정한 시간이 경과하면 MDI 스위치에 의해 첫 번째 슬레이브의 MDI 인터페이스가 차단되고 두 번째 슬레이브의 MDI 인터페이스가 활성화되어 멀티드롭 이더넷에 대한 접속이 이뤄진다. 각 슬레이브 내에서 스위치 제어를 통한 MDI 인터페이스 개폐는 I2C 통신

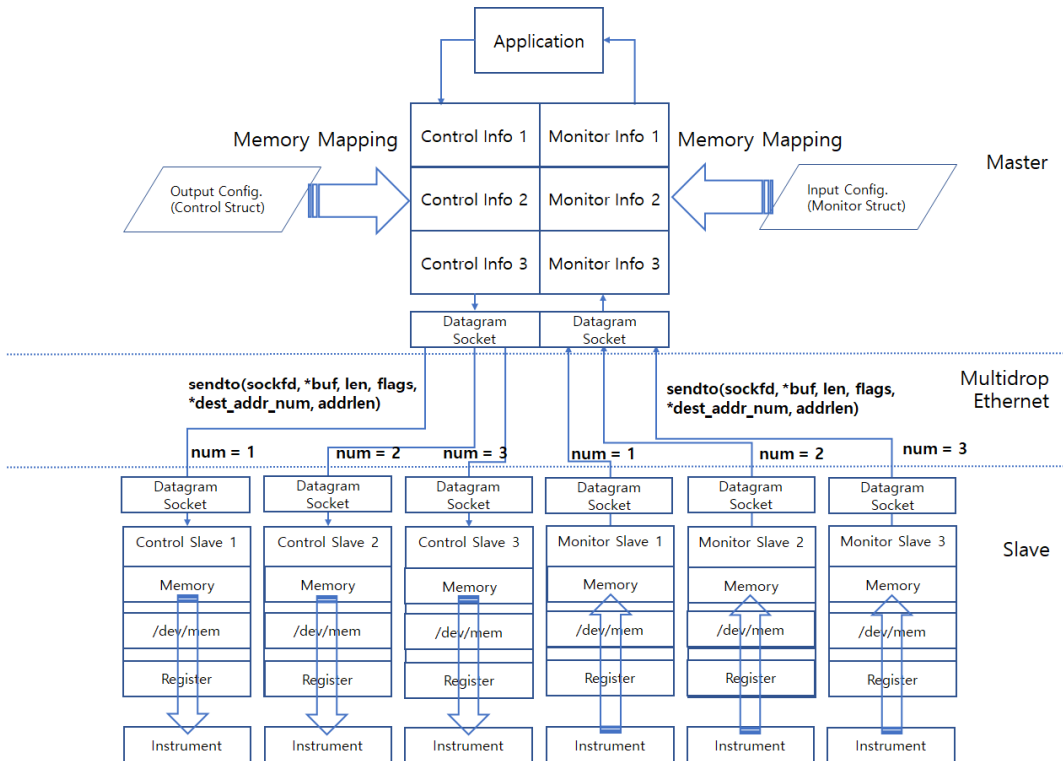


그림 7. TCP/IP 소켓, I2C, GPIO에 기반한 인스트루먼트 제어 및 모니터링
Fig. 7 Instrument Control and Monitoring based on TCP/IP Socket, I2C and GPIO

으로 구현 가능하다. 이후 다시 일정한 시간이 경과하면 두 번째 슬레이브의 PHY 연결이 차단되고 다음번 슬레이브의 스위치 매트릭스가 I2C 기반으로 ON으로 설정되어 마스터와의 통신이 이뤄진다. 이처럼 각 슬레이브가 일정하게 제한된 시간 동안 순차적으로 마스터와 1대1로 데이터를 송수신하는 절차가 진행되고 마지막 모듈의 데이터 송수신이 완료되면 다시 첫 번째 모듈로 돌아가 동일한 과정이 반복된다.

마스터 상의 메모리는 각 모듈의 레지스터 용량에 비례하여 크기가 할당된다. 본 논문에서는 이를 보다 효과적으로 구현하기 위해 인스트루먼트 제어 및 모니터링에 필요한 데이터 내역을 구조체 형태로 마스터 내에 설정 파일로 등록하였고, 해당 정보에 기반한 malloc 함수 호출을 통해 메모리 세그먼트를 생성하였다. 멀티드롭 환경에서 인스트루먼트 제어를 위해 마스터의 출력 메모리에 저장된 데이터는 임의의 설정된 주기마다 첫 번째부터 마지막까지 각 슬레이브에 대한 UDP 기반 이더넷 프레임 전송을 통해 슬레이브 모듈 내부의 레지스터에 기록되고 이후 GPIO 포트에 연결된 개별 인스트루먼트를 제어한다. 인스트루먼트에 대한 모니터링은 이와는 반대 방향으로 동작한다. GPIO 레지스터를 통해 입력된 인스트루먼트의 상태 정보는 각 슬레이브 내에서 레지스터에 매핑된 메모리에 저장되고 자신의 차례가 오면 서버 내부의 입력 메모리에 전송되어 기록된다. 멀티드롭 이더넷은 데이터 송수신이 이뤄지는 네트워크로서 마스터, 슬레이브가 물리적으로 연결되고 사용자 및 인스트루먼트가 그 후단에 계층적으로 구성된다. 그림 7은 상기 설명한 아키텍처 및 데이터 흐름을 도식화한 것이다. 이를 통해 마스터와 연결되는 슬레이브가 일정한 주기마다 바뀌며 1 대 1 세션이 수립되고 각 모듈의 메모리에 저장된 데이터가 상대측 모듈에 전달되는 과정에서 IoT가 작동됨을 알 수 있다.

V. 결 론

1980년에 상용화된 이더넷은 애초 목표로 삼은 “내부의 한정된 컴퓨터 연결을 위한 LAN 구축 기술”에서 그치지 않고 네트워크 분야의 확고한 지배적인 기술로서 WAN 영역까지 그 적용 범위를 확대하고 있

다. 그 활용에 있어서도 사무용에서 산업용으로 파급되고 있고 각 분야의 특성에 맞춰 최적화가 이뤄지고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 먼저, VLBI 수신기 시스템과 같은 소규모 M&C의 경우 데이터 체인 방식으로 인스트루먼트가 연결되고 회선 상에서 각 슬레이브가 마스터와 단독으로 통신한다는 점에 착안하

여 VLBI 시스템 수준에 최적화된 멀티드롭 기반의 IoT 아키텍처를 제안하였다. 멀티드롭 회선 상에서 각 슬레이브는 버스 형태로 연결되지만 I2C 기반의 MDI 인터페이스 제어를 통해 오직 하나의 슬레이브만이 활성화된다. 이를 구체화하기 위해 OSI 7계층에서 물리 계층에 해당하는 PHY의 개선 방안을 제시하였고 버스 형태로 연결되는 마스터-슬레이브 간 스위치를 경유하지 않고 점대점 통신이 가능하도록 시스템을 설계하였다. 이러한 동작 원리에 의해 프레임 충돌을 미연에 방지할 수 있으며, 스위치를 경유한 범용 이더넷과 효과는 동일하지만 인프라 구축에 있어서 효율성을 극대화시킬 수 있다.

본 논문에서 논의한 멀티드롭 이더넷 기반 IoT 아키텍처의 핵심은 마스터, 슬레이브 간 1 대 1 통신 구현을 위한 MDI 인터페이스 활성화 제어이다. 현재 이를 뒷받침하는 이더넷 디바이스가 전무하고 기능적으로 보완이 필요함에 따라 아직은 설계 단계에 있지만 제2 마스터에 의한 I2C 통신으로 후단에 위치한 각 슬레이브의 MDI 스위치를 제어할 수 있다면 애플리케이션 수준의 M&C 구현 및 성능 평가가 가능할 것으로 예상된다. 이 기술이 상용화되었을 경우 사용자는 고가의 모듈을 사용하던 기존의 관행에서 벗어나 보다 능동적으로 M&C 환경을 구축하고 향후 자동차 등의 교통 수단에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 논문은 출원 특허[발명의 명칭: 멀티드롭 이더넷 기반의 VLBI 수신기 제어 및 모니터링 시스템 / 출원 번호:10-2020-0142481]를 기반으로 작성되었으며, 해당 연구는 “KVN사업 확장”과 “중소기업 기술협력 및 천문우주기술 기반연구”사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] L. Lachello, P. Wratil, A. Meindl, S. Schonegger, B. S. Karunakaran and S. Potier, *Industrial Ethernet Facts - The 5 Major Technologies. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. Fredersdorf: EPSG, 2013.
- [2] M. Rafiquzzaman, *Microcontroller Theory and Applications with the PIC18F*. Pomona: Wiley, 2018.
- [3] D. Ryu, and T. Choi, "Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, 2018, pp. 751-756.
- [4] M. Song, D. Je, D. Byun, J. Lee, M. Chung, J. Kang, S. Wi and Y. Kang, "Implementation of Optimized M&C System on Distributed Environment using Profibus," *J. of the Korea Institute of Plant Engineering*, vol. 17, no. 4, 2012, pp. 135-146.
- [5] H. Kim, "A Study on The Real-Time Data Collection/Analysis/Processing Intelligent IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 2, 2019, pp. 317-322.
- [6] C. Dey, and S. Sen, *Industrial Automation Technologies*. London: CRC Press, 2020.
- [7] D. Kim, and T. Hoa, *Industrial Sensors and Controls in Communication Networks*. Seoul: Springer, 2019.
- [8] B. Forouzan, *Data Communications and Networking*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- [9] P. Raimond, and M. Metter, *Automating with PROFINET: Industrial communication based on Industrial Ethernet*. Erlangen: Wiley, 2008.
- [10] D. Molloy, *Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux*. Indianapolis: Wiley, 2006.
- [11] R. Giladi, *Network Processors: Architecture, Programming, and Implementation*. Burlington: Morgan Kaufmann, 2008.

저자 소개

**송민규(Gyu-Min Song)**

2001년 강원대학교 전기공학과 졸업(공학사)

2003년 강원대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 ~ 현재 한국천문연구원 연구원

※ 관심분야 : 대용량 데이터 처리, 초고속 네트워크, 병렬 시스템

