

Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 구현

Implementation of Two-way Data Link using the Thuraya Geostationary Orbit Satellite

장원창·이명희*

한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

Won-Chang Jang · Myung-Eui Lee*

Department of Electrical, Electronics and Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungcheongnam-do 31253, Korea

[요 약]

위성통신은 이동통신처럼 많은 사람이 사용하지는 않으나 군사용, 재난용, 원격 교육용 및 의료용, 도서 지역, 인프라 취약지역에서의 인터넷 제공 등 공공성, 통신서비스를 위하여 꼭 필요한 기술이다. 하지만 대부분의 통신 모뎀은 네트워크 통신을 할 때 IP 주소가 매번 바뀌는 유동 IP로 할당받아 서버와의 양방향 통신에서의 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 단말 장치의 제어기로 라즈베리 파이를 사용하여 위성 모뎀과 PPP 프로토콜을 통한 네트워크 통신을 하였으며 유동 IP를 갖는 모뎀에 대한 문제점을 해결하기 위하여 위성 모뎀의 문자 메시지 기능을 이용하였다. 이를 통하여 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크를 구현하였다.

[Abstract]

Satellite communication is not used by many people like mobile communication, but it is a necessary technology for public service and communication services, such as providing the Internet in military, disaster, remote education and medical services, island areas, and infrastructure vulnerable areas. However, most communication modems have problems with two-way communication with server as IP addresses are assigned to floating IP that change every time they communicate with the network. In this paper, we used the Raspberry Pi as the controller of the terminal device to communicate the network through the satellite modem and the PPP protocol, and to solve the problem of the modem with the floating IP, we used the text message function of the satellite modem. Through this process, two-way data links using the Thuraya geostationary orbit satellite were implemented.

Key word : Thuraya, Geo-stationary orbit, PPP protocol, Remote controls, Remote instrumentations.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.5.333>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 14 June 2019; Revised 29 June 2019

Accepted (Publication) 1 October 2019 (30 October 2019)

*Corresponding Author; Myung-Eui Lee

Tel: +82-10-6550-4720

E-mail: melee@koreatech.ac.kr

I. 서론

본 논문에서는 Thuraya 위성 모델과 PPP 데이터 통신을 위해 단말 장치의 제어기로 라즈베리 파이를 사용하고 네트워크 망에 접속하여 I/O 장치들을 이에 연결하여 통신 시설이 갖춰지지 않은 곳에서 제어 대상 시스템에 원격으로 접속하여 단방향 통신을 극복한 양방향 데이터 링크 시스템을 구현하는 것이 목표이다.

통신 시설이 갖춰지지 않은 곳에서 Thuraya 정지궤도 위성을 이용하여 원격 제어 및 계측 서비스를 제공할 수 있으며, 더 나아가 선박이나 항공, 무인지대에서의 모니터링, 위치추적, 제어 및 계측 등의 서비스에 응용할 수 있을 것으로 보인다[1].

국내에서 접할 수 있는 위성통신은 4종류 정도가 있다. 첫 번째로는 글로벌 스타(Global Star)는 저궤도 위성으로 감도와 송수신 속도가 빠른 장점이 있으나 수단을 포함한 아프리카 중부, 남부는 커버리지에서 제외된다. 두 번째로는 Iridium은 글로벌 스타와 같이 저궤도 인공위성을 통하여 전 세계 거의 모든 지역에서 통화가 가능하나 가격이 비싸고 위성 수명이 2014년부터 종료되기 시작한다. 세 번째로는 Inmarsat이 있는데 적도 상공에 있는 정지궤도위성을 사용하는 Thuraya社와 같은 방식의 위성통신이다. 11개의 정지궤도 통신위성과 휴대용 단말기를 이용한 음성 및 데이터 통신 서비스를 제공한다.

본 논문에서 사용하는 위성은 Thuraya 위성으로 2000년 10월부터 상용 서비스를 개시하였다. 현재는 적도 상공 25,786, km에서 2기의 통신용 정지궤도 위성으로 운영하고 있고 유럽, 중동, 아프리카, 한국 등 아시아 전역을 통화권역으로 약 110개국에서 서비스를 이용할 수 있다. 50분 통화 기준으로 Iridium은 200달러, Inmarsat은 250달러이지만 Thuraya의 경우 80달러 정도로 이용료가 매우 저렴한 편 이어서 실 활용하기에 적합하다. 그리고 현재도 그림 1과 같이 2기의 위성으로 전 세계의 2/3를 커버리지로 두고 있으나 2020년도에는 3번째 정지궤도 위성 발사 예정이 있어 더욱더 커버리지를 기대할 수 있다[2].

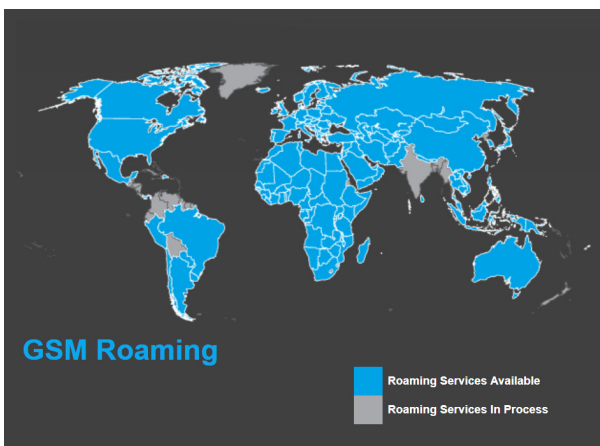


그림 1. Thuraya의 GSM Roaming 가능 지역
Fig. 1. GSM roaming area in Thuraya.

II. 양방향 데이터 링크 구현 구성

2-1 전체 시스템 구성

전체적인 시스템 구성은 아래의 그림 2와 같다.

본 논문에서 구현한 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 시스템은 위성 부분, 단말 장치의 제어기 부분, 서버 부분 이렇게 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 위의 그림 2의 DCE (data communications equipment) 부분은 Thuraya 통신 모델인 SM-2500 모델과 SDK 개발 키트로 구성되어 있으며, DTE(data terminal equipment) 부분은 단말 장치의 제어기와 I/O 장치들로 구성되어 있다. 단말 장치의 제어기와 위성 모델을 연결하여 PPP 프로토콜을 사용하기 위한 설정과 위성통신 제어 및 연결을 담당한다 [3].

2-2 양방향 데이터 링크 위성 부분

위성 모델으로는 Thuraya社의 SM-2500 모델을 사용한다. Thuraya社는 Thuraya 1, Thuraya 2 Thuraya 3 이렇게 3기의 정지궤도 인공위성을 발사하였고 현재는 Thuraya 2 Thuraya 3 이렇게 2기만 사용하고 있다. Thuraya 2 경우 2003년에 발사되었으며 경도 44° E에 위치하고 있다. 이 위성은 13,750개의 동시 음성 통화를 처리할 수 있다. 이 위성은 현재 유럽, 중동, 아프리카 및 아시아 일부 지역에서 사용되고 있다.

크게 두 가지 안테나 시스템을 사용하는데 round C-band 안테나와 L-band 안테나가 있다. 이러한 안테나는 최대 351개의 개별 spot beams를 지원하여 사용 시 필요한 곳에 집중적으로 사용하는 것이 가능하다. 이 인공위성의 정보 및 세부 스펙 사양은 아래 표 1과 같다.

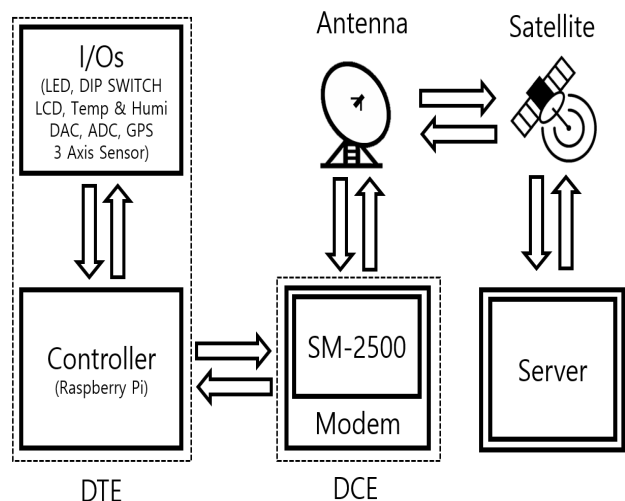


그림 2. 전체 시스템 개요
Fig. 2. Overall system overview.

표 1. Thuraya 인공위성 사양

Table 1. Thuraya satellite specifications.

Nation	United Arab Emirates
Type / Application	Communication
Operator	Thuraya Satellite Telecommunications Co.
Contractors	Boeing
Equipment	L-band 128 active elements, 17 W SSPAs C-band 2 active (2 spare)
Configuration	BSS-GEM (Geomobile)
Propulsion	R-4D
Power	2 deployable solar arrays, batteries
Lifetime	12 years
Mass	5177 kg
Orbit	GEO

Thuraya 3 경우 2007년에 발사되었고 경도 98.5° E에 위치하고 있으며 세부 스펙 사양은 Thuraya2 와 동일하다. Thuraya 社는 2020년에 3번째 정지궤도 위성 발사를 계획하고 있으며 앞으로 더 넓은 통신 커버리지의 확장성을 가져와 줄 것으로 보인다.

우선 Thuraya 위성 서비스를 사용하려면 Thuraya SIM 카드가 있어야 하며 이 Thuraya SIM은 일반 GSM 전화에서도 작동하며, SIM 제공자가 Thuraya와 로밍 계약을 체결하는 한 위성 네트워크에서 일반 GSM SIM 카드를 사용할 수 있다. 본 논문에서는 AP 위성통신에서 Thuraya SIM을 발급받았으며 음성, 문자 데이터가 가능한 SIM으로서 본 논문의 목적에 적합하다.

SM-2500 모뎀을 실질적으로 활용하기 위해 다음 그림 3의 오른쪽과 같은 Thuraya 社에서 개발한 SDK 개발 보드를 사용한다.

위성과 원활한 통신을 위하여 그림 3의 왼쪽과 같은 HOA2-159L-GPS/1486 안테나를 사용한다. 위성 안테나의 사양은 표 2와 같다.

표 2. 위성 모뎀 안테나 사양

Table 2. Satellite modem antenna specifications.

	ELECTRICAL	
	SATELLITE	GPS
FREQUENCY	1.525 - 1.6605 GHz	1.56 - 1.59 GHz
GAIN	2 -4 dBiC Nom.	30 dBiC Typ(Amp)
POLARISATION	Left Hand Circular	Right Hand Circular
BEAMWIDTH	360° (Az) x 163° (El)	360° (Az) x 163° (El)
AXIAL RATIO	2.5 dB Typ.	4.0 dB Typ.
VSWR	2:1	N/A
POWER RATING	20W	5 V DC via coax



그림 3. SM-2500 모뎀과 안테나

Fig. 3. SM-2500 modem and antenna.

안테나의 비교적 높은 gain 때문에 안테나를 위성을 향해 조준할 필요 없이 실외에서는 어디서나 통신이 가능하다. 또한 GPS 수신기가 포함되어 있기 때문에 위성들의 지상 위치를 조준을 돕기 위한 경유지로 프로그래밍할 수 있다. 이 서비스는 "spot beams" 이라고 불리는 커버리지 영역으로 블록 단위로 할당된 L밴드 캐리어에서 작동하며, 이 영역은 Thuraya와 서비스 영역과 동등하다. 다음 그림 4는 Thuraya의 spot beam이 형성되는 모습 대한 정보를 시각적으로 나타내준다.

L 대역에서는 다운링크(space-to-earth) 통신을 위해 1.525 GHz에서 1.559 GHz까지의 34 MHz 대역폭이 할당되고, 업링크(earth-to-space)는 1.6265 GHz에서 1.6605 GHz 사이에서 작동한다. 업링크 및 다운링크 채널은 31.25 kHz의 래스터에서 1087 쌍으로 구성된 반송파 주파수다. 고정 길이의 시간대에 통신사를 할당하는 TDMA(time division multiple access) 타임 슬롯 아키텍처를 사용한다.

그림 5와 같은 커버리지 안에서는 그림 4와 같은 Thuraya spot beam 기술로 좀 더 원활한 통신이 가능하다.

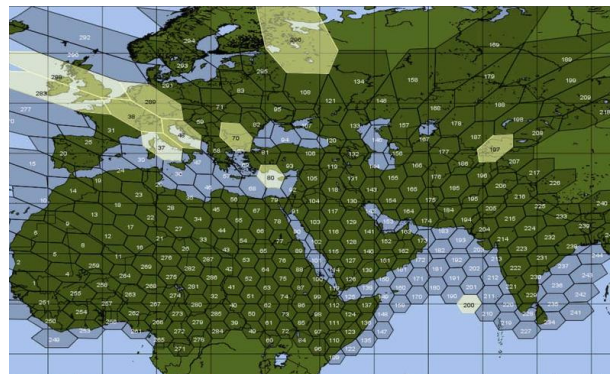


그림 4. Thuraya 스폿 빔 지도

Fig. 4. Thuraya spot beam map.

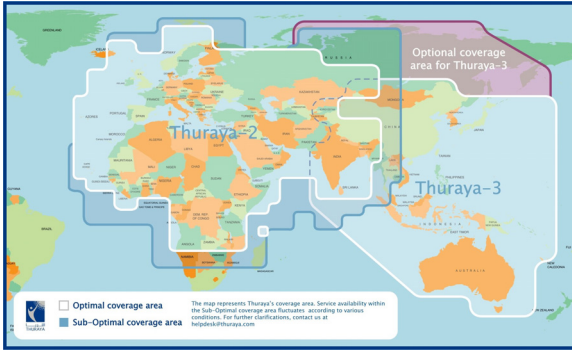


그림 5. Thuraya 커버리지 영역

Fig. 5. Thuraya coverage area.

2-3 위성통신 양방향 데이터 링크 구현

위성 부분은 단말 장치의 제어기에서 연결 및 제어를 담당한다. 먼저 위성 모뎀과 단말 장치의 제어기에 전원을 넣고 단말 장치가 작동을 시작하면 Serial 포트에 터미널을 통하여 AT Command를 사용하여 연결한다. 다음 그림 6은 모뎀에서 PPP 프로토콜로 네트워크 연결을 위한 설정이다.

<연결 설명>

- 단말 장치의 제어기와는 기본적으로 /dev/ttyUSB0로 연결하여 baud rate는 115200으로 설정한다.
- ATZ 명령어로 기본 초기화를 진행한 후
- AT+CGDCONT = 1, "IP", "GET" 명령어로 연결 방법에 대해 설정을 한다.
- 네트워크 연결은 "IP" 방식으로 APN은 "GET"으로 연결한다.
- ID와 PASSWORD는 기본적으로 공백이다.
- TAD 명령어로 *99#으로 다이얼을 걸게 되면 네트워크 연결을 시도하며 연결이 안될 때는 계속 연결시도를 한다.

```
Init1 = ATZ
Init2 = AT+CGDCONT =1, "IP", "get"
Dial Attempts = 3
Stupid Mode = yes
Modem Type = Analog Modem
Dial Command = ATD
New PPPD = yes
APN = get
Modem = /dev/ttyUSB0
Baud = 115200
ISDN = 0
Phone = *99#
Check DNS = 0
Auto DNS = 1
Auto reconnect = yes
Username = "Blank"
Password = "Blank"
Carrier Check = no
```

그림 6. 위성 모뎀 연결 설정

Fig. 6. Satellite modem connection settings.

```
--> Initializing modem.
--> Sending: ATZ
OK
--> Sending: AT+CGDCONT =1, "IP", "get"
OK
--> Modem initialized.
--> Sending: ATD*99#
--> Waiting for carrier.
CONNECT
~[7f]}#@[!]}]} }8!]}$&@}%&@}{[f]0"}&} } } }
--> Carrier detected. Starting PPP immediately.
--> Starting pppd at Mon May 6 01:38:11 2019
--> Pid of pppd: 871
--> Using interface ppp0
--> pppd: 000v[08]00
--> pppd: 000v[08]00
--> local IP address 85.115.78.129
--> pppd: 000v[08]00
--> remote IP address 85.115.78.254
--> pppd: 000v[08]00
--> primary DNS address 85.115.64.64
--> pppd: 000v[08]00
--> secondary DNS address 85.115.64.65
--> pppd: 000v[08]00
```

그림 7. 모뎀 PPP 연결 수립

Fig. 7. Establishing a modem PPP connection.

수초 후 네트워크 연결이 수립되어 그림 7과 같이 위성통신을 할 수 있는 상태가 된다.

그림 7의 "Using interface ppp0" 다음에 Local IP를 할당받으며 DNS 주소까지 잘 할당 받았음을 알 수 있다. 다음으로는 네트워크 통신이 가능한지를 알아보기 위하여 IP Route에 대한 부분과 PPP0 연결에 대한 정보를 열람해볼 수 있다.

그림 8과 그림 9를 보게 되면 단말 장치의 제어기에 정상적으로 네트워크가 연결된 것을 볼 수 있다.

네트워크가 정상적으로 작동하는지 알아보기 위해 google.com으로 ping을 보내보았으며 결과는 그림 10과 같이 정상적으로 패킷을 주고받는 모습을 확인할 수 있었다.

이로써 모뎀과 단말 장치의 제어기 간의 연결 설정 및 위성 통신이 가능하도록 하였다. 모뎀과 단말 장치의 제어기 간의 통신 설정 및 PPP 연결시도는 네트워크가 연결될 때까지 반복적으로 실행되며 중간에 네트워크 연결이 끊어지게 되면 자동으로 연결 시도하도록 하여 데이터 누락을 최소화시켰다.

```
pi@raspberrypi:~ $ ip route show
default dev ppp0 scope link
85.115.78.254 dev ppp0 proto kernel
scope link src 85.115.78.129
```

그림 8. 연결된 IP ROUTE를 조회한 모습

Fig. 8. Viewed IP ROUTE connected

```
pi@raspberrypi:~ $ ifconfig ppp0
ppp0: flags=4305<UP,POINTOPOINT,RUNNING,NOARP,MULTICAST> mtu 1500
inet 85.115.78.129 netmask 255.255.255.255 destination 85.115.78.254
ppp txqueuelen 3 (Point-to-Point Protocol)
RX packets 874 bytes 12859 (12.5 KiB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1088 bytes 45291 (44.2 KiB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

그림 9. PPP 연결 확인

Fig. 9. Confirm PPP connection.

```

pi@raspberrypi:~$ ping google.com -c 5
PING google.com (216.58.207.110) 56(84) bytes of data:
64 bytes from fjr02s04-in-f14.1e100.net (216.58.207.110)
=2263 ms
64 bytes from fjr02s04-in-f14.1e100.net (216.58.207.110)
=1490 ms
64 bytes from fjr02s04-in-f14.1e100.net (216.58.207.110)
=1409 ms
64 bytes from fjr02s04-in-f14.1e100.net (216.58.207.110)
=1380 ms
64 bytes from fjr02s04-in-f14.1e100.net (216.58.207.110)
=2808 ms

--- google.com ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time
rtt min/avg/max/mdev = 1380.323/1870.389/2808.449/571.3
    
```

그림 10. ping 테스트한 결과
Fig. 10. Ping test results.

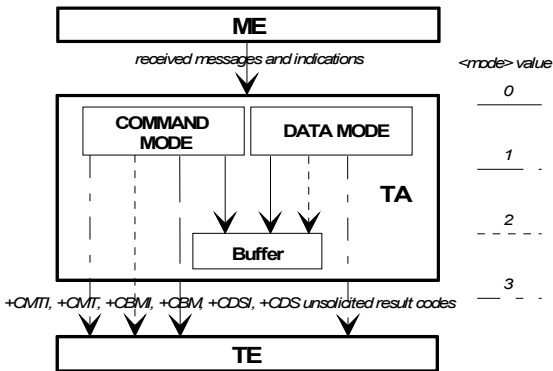


그림 11. 새로운 메시지를 송신할 때 모뎀의 파라미터
Fig. 11. Parameters in the modem when sending new messages.

SM-2500 인공위성 모뎀과 통신 및 제어와 다양한 I/O 장치들을 제어하고 송수신할 데이터들을 관리하기 위하여 단말 장치의 제어기에서 Python을 사용한다. 단말 장치의 제어기를 구동시키기 위한 OS로 Raspbian 이라는 무료 배포 OS를 설치하였으며 이 Raspbian OS에는 Python이 기본적으로 설치되어있다. 이 Python을 사용하여 SM-2500 모뎀과 PPP 프로토콜 연결을 수립하며 모뎀으로부터 오는 데이터들을 통해 단말 장치를 제어한다.

모뎀을 통하여 네트워크에 연결하게 되면 유동 IP로 할당받기 때문에 서버에서 정상적으로 output 데이터를 송신할 수 없다. 이를 보완하기 위하여 그림 11과 같은 모뎀의 메시지 기능을 사용하기로 하였다. [4]

우선 위성 모뎀과의 연결 후 네트워크 연결이 되면 그림 12와 같이 서버로부터 제어 명령어 메시지를 받는다. 이 명령어는 메시지가 도착하면 자동으로 출력되게 설정하였으며 내용에 상관없이 단말 장치의 제어기에서 TCP/IP 소켓 통신 시도를 진행한다.

```

+CMTI: "SM",16
    
```

그림 12. 서버로부터 받는 메시지 출력
Fig. 12. Output messages from the server.

메시지가 정상적으로 모뎀에게 전달되면 그림 12와 같이 시리얼 모니터에 출력이 되고 단말 장치의 제어기에서는 이를 통하여 TCP/IP 연결을 시도하여 유동 IP를 갖는 모뎀과의 통신에서의 단점을 극복하였다.

III. 위성통신 양방향 데이터 링크 구현

3-1 양방향 데이터 링크 시스템

위성 모뎀 특성상 고정 IP가 아닌 유동 IP를 할당받기 때문에 서버와의 양방향 통신이 불가능하게 된다. 이를 보완하기 위하여 모뎀으로 문자 메시지를 보내어 단말 장치 제어기의 IP 주소값을 알아낸 다음 양방향 TCP/IP 소켓 통신을 가능케 한다. 다음은 그림 13의 양방향 통신 과정의 설명이다. [5]

<양방향 통신 설명>

- 먼저 DCE(modem) 으로 PPP 연결을 시도한다.
- 모뎀에서 정상적으로 위성 신호를 받으면 PPP 프로토콜로 네트워크 연결을 한다.
- 그리고 서버에서 사용자가 웹 GUI 컨트롤을 사용하여 connect start 버튼을 누르게 되면 모뎀으로 문자 메시지가 전송된다.
- 정상적으로 모뎀에서 문자 메시지를 송신 받으면 단말 장치 제어기에서 문자메세지 송신을 받아들이고 서버로 할당 받은 IP 주소값을 보내어준다.
- 서버에서 정상적으로 IP값을 받으면 이후부터는 TCP/IP 소켓을 열어 양방향 통신을 하여 단말 장치 제어기와 입출력 데이터들을 송수신한다.

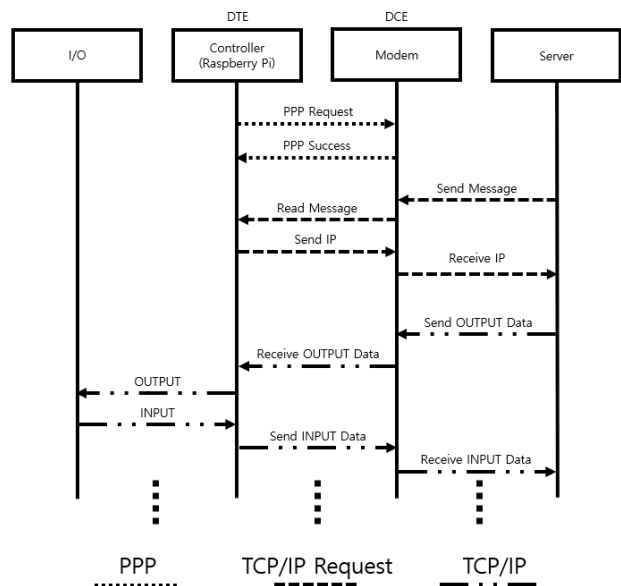


그림 13. 양방향 통신 과정
Fig. 13. two-way communication process.

IV. 결 론

본 논문에서 연구를 진행하며 구현한 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 구현은 라즈베리 파이를 단말 장치의 제어기로 선정하여 다양한 제어 시스템에 확장 응용할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 이를 위해 Thuraya 위성 모뎀을 연결하기 위한 쉬운 설정을 하여 사용자가 쉽게 네트워크를 사용할 수 있도록 하였다.

본 논문은 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 구현한 것으로서 지상 통신이 곤란한 해양, 항공, 오지에 서도 데이터 통신이 가능하다.

단말 장치의 제어기를 이용한 장치는 위성 모뎀과 UART 통신으로 연결되어 PPP 프로토콜과 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 데이터 통신을 한다. 기존 통신 모뎀은 유동 IP를 할당받음으로써 제한적인 단방향 통신밖에 할 수 없지만 본 논문에서 구현한 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 시스템으로 이의 단점을 극복할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 이와 같은 위성 모뎀 통신을 사용하여 단말 장치의 제어기로 통신을 제어하고 서버와의 각 데이터의 정상적인 송수신으로 확인하여 Thuraya 정지궤도 위성을 이용한 양방향 데이터 링크 구현하였다. 향후 이 모뎀을 사용하여 양방향 데이터 링크 시스템을 사용하여 단말장치의 제어기에 연결된 I/O장치들을 제어할 예정이다.

Acknowledgements

이 논문은 2018년도 한국기술교육대학교 교수연구제 파견 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Berman, Highlights in Space 2007: Progress in Space Science, Technology and Applications, International Cooperation and Space Law, *United Nations Publications*, 2008.
- [2] F. Dimc and G. Baldini, "Experimental detection of mobile satellite transmissions with cyclostationary features," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, Vol. 33, No. 2, pp.163-183, Mar. 2015.
- [3] S. Ferdoush and X. Li, "Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications," *Procedia Computer Science*, Vol. 34, pp. 103-110, 2014.
- [4] D. A. Sunderland, G. L. Ducan and B.J. Rasmussen, "Megagate ASICs for the Thuraya satellite digital signal processor," in *Proceedings International Symposium on Quality Electronic Design*, San Jose; CA, pp. 1-8, March, 2002
- [5] J. M. Kang, J. W. Jung, M. S. Kim and W. J. Oh, "Design and implementation of $\pi/4$ QPSK satellite IP modem part," *The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 11, No. 10, pp. 1858-1865, 2007.



장 원 창 (Won-Chang Jang)

2017년 8월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 (공학사)
2019년 8월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 (공학석사)
2019년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 (공학박사)
※ 관심분야 : Embedded System



이 명 의 (Myung-Eui Lee)

1985년 2월 : 인하대학교 전기공학 (공학사)
1987년 2월 : 인하대학원 기기 및 제어 (공학석사)
1991년 8월 : 인하대학원 기기 및 제어 (공학박사)
1995년 8월 : 현대전자(하이닉스) 선임연구원
2004년 1월 ~ 2005년 1월 : U.C.Berkeley 객원교수
1995년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 교수
※ 관심분야 : 제어계측 시스템, 시스템 소프트웨어, 위성통신시스템