

소형위성 패킷 통신용 KAX. 25 링크층 프로토콜의 구현과 적합성 시험

正會員 李 英 魯* 正會員 成 檀 根** 正會員 金 東 圭*

Implementation and Compatibility Test of KAX. 25 Link Layer Protocol for Microsatellite Packet Communications

Young Ro Lee*, Dan Keun Sung**, Dong Kyoo Kim* *Regular Members*

要 約

본 논문은 우리별 소형위성에 탑재되어 사용될 KAX. 25 패킷 통신 프로토콜을 개발하기 위한 연구로서, KAX. 25 프로토콜의 부분인 입출력 드라이버, 입출력 처리기 그리고 무선프로토콜인 AX. 25를 차세대 주 컴퓨터부에서 구현한다. 그리고 구현된 프로토콜은 위성국과 지상국을 연결한 시험모형에서 위성국에 탑재하여 데이터 링크 계층 프로토콜의 적합성 시험이 이루어 진다.

ABSTRACT

This paper is concerned with the development of a packet communication protocol KAX. 25 to be used on the KITSAT microsatellite. As a part of the KAX. 25 protocol, an interrupt driven I/O driver, I/O handler and an AX. 25 radio communication protocol are implemented in the KASCOM that will be used as On-Board Computer in the next missions. The implemented protocol is applied to the engineering model of the KITSAT-2 satellite in the test configuration simulating the link between the satellite and the ground station and the compatibility of the data link layer protocol is tested.

I. 서 론

지상에서 컴퓨터 통신이 활성화되고 더 나아가 지구 전체를 영역으로 하는 빠른 속도의 통신이 대두되기 시작함에 따라 위성 통신에 대한 많은 관심을 가지게 되었다. 위성의 종류는 위성이 어느 궤도를 지나고, 어떤 임무를 수행하느냐에 따라 여러가지로 나누어 지고 통신방식도 결정된다. 지상과 위성간의 통신은 위성이 임무에 따라 다르지만 대체로 아마추어

*亞洲大學校 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Engineering Ajoon Univ.

**韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
Dept. of Electrical Engineering, KAIST

論文番號 : 93176

接受日字 : 1993年 9月 15日

대역을 이용하고 있는 저궤도 소형위성에서는 AX. 25 프로토콜을 이용한 패킷 통신 서비스를 제공해 주고 있다^[1]. 아마추어 주파수 대역을 사용하고 있는 위성 서비스는 위성이 대개 적도면에 대하여 경사각을 유지하며 선회하기 때문에 세계의 어느 지역에도 하루에 몇번은 통과하는 장점이 있다^[2]. 그러나 이런 위성은 무궁화 위성과 같은 지상 정지 궤도 위성이 아니기 때문에 언제나 항상 일정한 지역의 상공에 떠있지는 않는다. 그래서 저궤도 위성은 지상의 어느 특정 지역에서 송신한 메시지를 수신하여 저장시킨 뒤 궤도를 돌고 있으면 다른 지역의 사용자들이 위성에서 꺼내 볼 수 있도록 하는 방식으로, 축적 및 전송방식(Store-and-forward)을 사용한다.

지상의 AX. 25프로토콜은 아마추어 무선 패킷통신 프로토콜로서 디지털 기능을 가진 링크층 프로토콜로 되어있다. 그래서 위성용 KAX. 25 패킷 통신 프로토콜은 AX. 25 프로토콜을 이용하는 사용자들의 서비스를 제공하고 있을 뿐만 아니라, 위성의 자체적인 정보등을 처리하여 지상의 사용자들에게 위성 관련 정보를 수신할 수 있는 프로토콜이다. 그러기 위해서 먼저 AX. 25 프로토콜이 애매함이 있는가, 아니면 상태의 데드락, 라이브락 등을 모델링 도구로서 시간 기능과 계수 기능을 가지고 있는 확장된 페트리넷을 이용하여 모델링하고, 도달성 나무 분석에 의하여 프로토콜을 검증하였고^[3], 본 논문은 프로토콜 공학의 다음 단계로서 검증된 링크층을 구현하고 시험한다.

본 연구는 위성용 KAX. 25 프로토콜을 개발하기 위해 차세대 운영체제인 별지기를 기반으로^[4], 프로토콜을 구현하고, 이 프로토콜이 규격과 적합성이 있는지 확인하기 위해서 지상에서 유선 실시간 환경에서 시험 환경을 만들어 시험한다.^[5,6,7]

II. KAX. 25 프로토콜

II.1 개요

KAX. 25는 무선 프로토콜로서 위성의 입장에서 보면, 수신 주파수를 145MHz 대역과 송신 주파수를 435MHz를 사용하고 있다. 모뎀의 변조 방식은 FSK 방식을 사용하고 있으며 전송 속도는 9600bps이다^[2]. 저궤도 위성에서도 통신매체로 무선을 이용한 상향 링크와 하향링크의 주파수가 다르며, 반이중 통신방식을 따르고 있으며, 주소부에 의해서 구별되는 단일 공용 채널상에서 다중링크의 사용은 CCITT 권고 Q.

921의 원칙을 따른다^[8]. 프레임 구조는 HDLC(High-level Data Link Control procedure)의 프레임 구조와 유사하지만 특이한 점은 주소부에 HDLC 주소의 확장형을 사용한다.^[1]

II.2 링크층의 상태 및 종류

- 1) 링크층-휴식 상태(KL-DISCONNECTED)
- 2) 링크층-연결 진행 상태(KL-CONNECTING)
- 3) 링크층-연결 대기 상태(KL-CONNECT-PEND)
- 4) 링크층-연결 완료 상태(KL-CONNECTED)
- 5) 링크층-연결 해제 진행 상태(KL-DISCONNECTING)
- 6) 링크층-타임아웃 복구 상태(KL-TIMEOUT-RECOVERY)
- 7) 링크층-프레임 거절 상태(KL-FRAMEREJECT)

2.3 링크층 서비스 프리미티브^[3].

서비스	프리미티브	파라메터
연결요청	KL Connect Request	Calling Addr. Called Addr. Service Class
	KL Connect Indication	Calling Addr. Called Addr. Service Class
	KL Connect Response	Calling Addr. Called Addr. Service Class
	KL Connect Confirm	Calling Addr. Called Addr. Service Class
연결해제	KL Disconnect Request	Calling Addr. Called Addr.
	KL Disconnect Indication	Calling Addr. Called Addr. Reason
	KL Disconnect Response	Calling Addr. Called Addr.
	KL Disconnect Confirm	Calling Addr. Called Addr. Status
데이터 전송	KL Data-Request	Calling Addr. Called Addr. KL User Data
	KL Data Indication	Calling Addr. Called Addr. KL User Data
리셋	KL Reset Request	Calling Addr. Called Addr.
	KL Reset Indication	Calling Addr. Called Addr. Reason
	KL Reset Request	Calling Addr. Called Addr.
	KL Reset Confirm	Calling Addr. Called Addr. Status
비연결요청	KL Unit Data Request	Calling Addr. Called Addr. KL User Data Service Class
	KL Unit Data Indication	Calling Addr. Called Addr. KL User Data Service Class

II.4 전송전차

II.4.1 연결 모드

- 1) 링크 설정 : 호출측의 링크층 실체는 상위 계층으

로 부터 연결 요구(Connect Request)프리티비트를 내려 받으면, 실체는 이에 대응하는 프레임을 생성하여 호출되는 링크층 실체에게 프레임을 송신한다. 호출되는 링크층 실체는 링크 설정 요구 프레임을 수신하여 자신의 상위 계층에게 연결 지시(Connect Indication)프리티비트를 위로 전달해 주고 자신은 연결 대기 상태에 있다가 상위계층으로부터 연결 요구의 결과를 내려 받고나서 자신의 링크층 상태머신을 진행시킨다. 만일 연결 요구가 허락되면 링크층 실체는 연결 설정 허락 프레임을 생성하여 호출층에게 응답으로 송신한다. 호출층은 연결 허락의 프레임을 수신하고 나서 자신의 상태머신을 정보전송 상태인 완전 연결 상태로 넘어간다. 그리고 상위계층에게는 연결 확인(Connect-Confirm)프리티비트를 올려 준다.

2)해제 : 정보 전송 상태인 완전 연결 상태에서 정보 전송이 모두 이루어 지고 해제 상태로 넘어가기 위해 상위계층은 연결해제-요구(Disconnect Request)프리티비트를 내려받으면 링크층 실체는 이에 해당하는 프레임을 생성하여 상대에게 송신하고 나서 상태로 부터 응답 프레임을 기다린다. 그리고 수신하면 자신의 상태머신을 진행시킨다. 해제는 응용층에서 정상적인 해제뿐만 아니라 강제적인 해제(abort)에 의해서도 링크층에서 연결해제-요구 프리티비트로 처리된다.

3) 정보 전송 : 링크가 설정되면 상위계층으로부터 실제적인 정보 데이터를 내려 받는다. 그러면 링크층 실체는 자신의 상태머신을 운용하면서 정보 데이터 프레임을 생성하여 윈도우 프로토콜에 의해서 정보를 전송한다. 이 상태에서는 정보가 전송되는 지연시간을 고려한 응답시간을 체크하여 타임아웃이 발생할 수 있으며, 타임아웃이 일어나면 타임아웃 회복 상태로 넘어가서 상태로 부터 RR, RNR 그리고 REJ 프레임을 수신하고 다시 정보 전송상태로 돌아올 수 있다. 만일 회복 불능의 예러가 발생하게 되면 상호 링크층간에 리세트 프리티비트에 의해서 링크 설정이 다시 개시되고 지금까지 받았던 데이터들은 모두 무시되며 처음부터 다시 정보전송이 시작된다.

II.4.2 비연결 모드

1) 비연결 정보 전송 : 이것은 KAX. 25에서 중요한 서비스 기능으로서 위성의 링크층과 비연결 상태에서 비번호 정보 프레임을 통해서 정보를 전송한다. 이 서비스는 위성이라는 특수한 상황에 잘 적용되는 기능으로서 위성의 링크층은 자신의 상태 전이 머신

을 운행하지 않고 즉시 처리하는 장점이 있으나 많은 정보를 전송하는데는 어려움이 있다. 연결 설정 모드에서 간단한 정보 메시지를 보내려고 할 경우는 연결 설정 절차로 인한 채널 효율의 낭비와 위성에서 연결 설정 서비스 숫자의 제한으로 언제나 쉽게 연결 설정이 이루어 지지 않는 점이 있어서 비 연결 정보 전송 서비스를 이용하는 것이 좋다. 그러나 이 프레임으로 전송되는 데이터는 에러 체크는 가능하지만 응답을 받을 수가 없으므로 프레임의 분실에 대한 대책이 없다. 그래서 여러번의 송신으로 서비스를 받을 수 밖에 없다. 지상에서 송신한 KL-Unit-Data 프리티비트는 위성의 링크층에서 수신하여 상위계층으로 전달된다. 상위계층에서는 지상의 여러 사용자들이 전송한 KT Unit-Data들을 큐에 저장한 뒤 응용층에 넘겨 준다.

III. 구 현

III.1 구현 환경

선계와 구현 환경은 차세대 저궤도위성의 주 컴퓨터로 사용될 KASCOM 모드에서 중앙처리장치로는 인텔 80960을 사용한다. 그리고 멀티 태스킹 서비스가 제공되고 태스크간에 큐를 이용한 태스크간의 통신이 가능하고, 인터럽트 처리가 제공되는 차세대 위성용 범지구 운영체제에서 IBM 그림 1과 같은 구조로 구현하며, 구현 언어는 표준 C 언어를 사용한다.

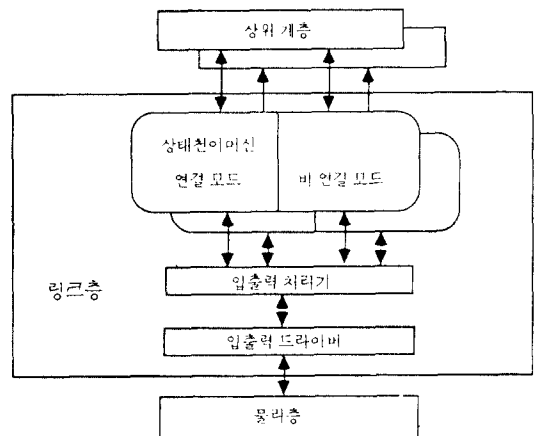


그림 1. 링크층의 구조

III.2 입출력 드라이버

입출력 드라이버는 디지털 통신에서 통신의 입출력 기능을 위해서 많이 사용되고 있는 Z85C30 SCC (Serial Communication Controller)를 이용하였다 [9]. 이 제어기는 비동기모드, 동기모드 그리고 SDLC /HDLC 기능, 양방향 채널을 이용한 동기적인 비트 중심의 프레임 전송 기능을 가지고 있다. 그래서 본 연구에서는 KAX. 25 프로토콜의 HDCL 모드를 지원하기 위해, 동기모드에서 비트 중심의 프레임 전송방식을 지원하는 이 제어기를 이용하여 인터럽트 방식의 입출력 드라이버를 구현한다. 이 제어기는 프레임 구성하는 앞 뒤의 플래그(01111110)삽입, HDLC의 확장형 어드레스 필드, CRC 검사 그리고 제로(zero) 비트 삽입과 삭제 기능을 지원하고 있다.

III.2.1 인터럽트 벡터의 구성

직렬 통신 제어기가 CPU로 부터 INTACK 신호를 받았을 때 직렬 통신 제어기는 인터럽트벡터를 데이터 버스에 실으며, 이 벡터는 읽기 레지스터 2로부터 읽어올 수 있다. 직렬 통신 제어기는 현재의 인터럽트의 상태를 3개의 비트로 표현한다.

3.2.2 인터럽트의 종류

- 1) Rx-INT(수신 인터럽트)
 - a) 특수한 수신 조건 인터럽트(패리티 에러, CRC 에러 등)
 - b) 첫 수신문자의 인터럽트(첫 데이터 문자 등)
 - c) 수신 문자의 인터럽트(수신되는 문자들)
- 2) Tx-INT(송신 인터럽트)
 - a) 송신 버퍼 검사 인터럽트
- 3) External /Status INT(외부 /상태 인터럽트)
 - a) 데이터 캐리어 검출기 변화 인터럽트
 - b) 모뎀 검사의 인터럽트
 - c) SYNC /HUNT 인터럽트

III.2.3 직렬 통신 제어기의 송신 상태 천이도

- a) 휴식(IDLE)상태 : 송신할 데이터가 없는 상태
- b) 전송(TRANSMIT)상태 : 데이터를 송신 중인 상태
- c) 언더런(UNDERRUN)상태 : 데이터를 송신하고 CRC를 첨가
- d) 플래그아웃(FLAGOUT)상태 : CRC와 플래그를 보내고 다음 프레임을 보내는 상태

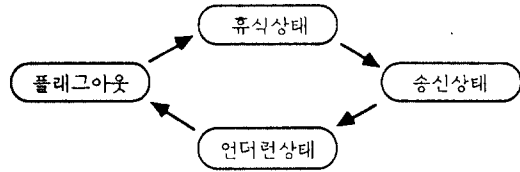


그림 2. 직렬 통신 제어기 송신 상태 천이도

III.2.4 직렬 통신 제어기의 송신 절차

직렬 통신 제어기의 송신 절차는 그림 3과 같으며 휴식 상태에서 입출력 처리기로 부터 송신 데이터가 들어 있는 버퍼를 넘겨 받으면 CRC를 계산하도록 레지스터를 설정해 두고 송신 버퍼에 들어있는 데이터가 직렬 통신 제어기에 넘겨 진다. 직렬 통신 제어기는 이 데이터를 한 문자씩 받아서 CRC를 계산하고 나서 제로 삽입(zero insertion)을 하고 프레임 시작 플래그와 데이터 비트 패들들을 트랜시버에 전달하기 시작하며, 송신 버퍼의 데이터들이 모두 전달되면 바로 뒤에 계산된 CRC와 마지막 플래그가 전달된다.

```

Transmit_Interrupt_Service_Routine
{
    switch(Tx_State) {
        case 플래그아웃 :
            Tx_State = 휴식상태 ;
            Wait();
        case 휴식상태 :
            if (송신 버퍼 비어있으면)
                break ;
            else {
                Write_Scc 예시 송신 CRC를 리셋 ;
                Write_Scc 예시 문자를 송신 ;
                Tx_State = 송신상태 ;
                break ;
            }
        case 송신상태 :
            if (송신버퍼에 문자가 있으면)
                Write_Scc 예시 문자를 송신 ;
            else {
                Tx_State = 언더런상태 ;
                Write_Scc 예시 CRC와 FLAG를 송신 ;
                break ;
            }
        case 언더런상태 :
            Tx_State = 플래그아웃 ;
            break ;
        default :
            Tx_State = 휴식상태 ;
            break ;
    }
}
    
```

그림 3. 직렬 통신 제어기의 송신 절차

III.2.5 직렬 통신 제어기의 수신 상태 천이도

- a) 휴식(IDLE)상태 : 수신되는 데이터가 없는 상태
- b) 수신(RECEIVE)상태 : 데이터를 수신중인 상태
- c) 체크(CHECK)상태 : CRC를 체크하는 상태

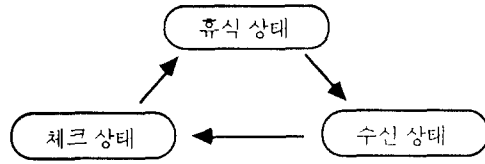


그림 4. 직렬 통신 제어기 수신 상태 전이도

III.2.6 직렬 통신 제어기의 수신 절차

수신 절차는 그림 5와 같으며, 수신 상태를 언제든 지 직렬 통신 제어기로 부터 시작 플래그가 입력되면 인터럽트가 일어나서 인터럽트 벡터 테이블에 기록이 된다. 그러면 모든 상태의 처리를 멈추고 우선적으로 수신되는 비트 패턴에서 제로 삭제(zero deletion)를 하고 수신 버퍼에 저장시키면서, 직렬 통신 제어기가 마지막 플래그를 받으면 수신된 CRC와 자신이 계산했던 CRC를 체크한다. 만일 체크 에러가 발생하면 수신된 프레임은 버려지게 되고 체크 에러가 발생하지 않으면 수신 데이터 프레임 버퍼를 임출력 처리기에 넘겨주게 된다.

```

Receive_Interrupt_Service_Routine
{
    switch(Rx_State)
    {
        case 휴식상태 :
            if (첫번째 문자가 수신되지 않았으면)
                break ;
            else {
                Rx_State = 수신상태 ;
                Read_Scc 에서 수신 문자를 읽음 ;
                break ;
            }
        case 수신상태 :
            if (플래그가 아니면) {
                Read_Scc 에서 문자를 읽음 ;
                break ;
            }
            else {
                Rx_State = 체크상태 ;
                break ;
            }
        case 체크상태 :
            if (CRC 에러 또는 수신 에러) {
                수신 버퍼를 해제 ;
                Rx_State = 휴식상태 ;
                break ;
            }
            else {
                수신된 프레임 버퍼를 상위로 넘겨줌 ;
                Rx_State = 휴식상태 ;
                break ;
            }
        default {
            Rx_State = 휴식상태 ;
            break ;
        }
    }
}
    
```

그림 5. 직렬 통신 제어기의 수신 절차

III.3 입출력 처리기(Handler)

KAX, 25 프로토콜의 링크층은 지상의 여러 사용자들의 서비스를 제공하기 위해 여러개의 링크층 실체들을 생성한다. 그리고 입출력 처리기는 그림 6과 같으며 링크층 실체들의 데이터를 상대의 링크층 실

체에게 전송하기 위해 생성된 프레임들을 다중화하여 입출력 드라이버에게 넘겨준다. 그리고 반대의 경우, 입출력 처리기는 입출력 드라이버의 수신 버퍼로부터 수신 프레임들을 넘겨 받아 링크층에 넘겨 준다. 그러면 링크층은 수신한 프레임의 주소부를 해독하여 역 다중화하여 여러개의 링크층 실체들을 생성한다.

```

In_Out_Handler
{
    Scc의 초기화 ;
    수신 버퍼 큐를 할당 ;
    수신 버퍼 큐를 할당 ;
    while(1)
    {
        if (수신 버퍼가 채워지면)
        {
            수신 버퍼를 상위로 넘겨줌 ;
            수신 버퍼 해제 ;
        }
        if (수신 버퍼가 수신되면)
            수신 버퍼를 해제 ;
    }
}
    
```

그림 6. 입출력 처리기

III.4 프레임 종류와 송수신 번호

각 링크층 실체는 수신한 프레임에서 제어 옥테트를 뽑아내어 수신한 프레임의 종류와 서비스 기능을 알아내고 링크층의 제어블럭을 관리하면서 링크층 상태 전이에 의해서 링크를 관리한다.

그림 7은 제어 부분을 처리하는 절차이다.

```

Check_Frame_Type
{
    if (Control_Field & 1) /* I frame */
        수신순서번호와 수신순서번호를 추출 ;
        return ;
    if ((Control_Field & 2) == 1) /* U or UI frame */
        return ;
    else if ((Control_Field & 2) == 0) /* S frame */
        수신순서번호를 추출 ;
        return ;
}
    
```

그림 7. 제어 프레임 처리 절차

III.5 링크층 상태 전이 머신과 상태 전이도

III.5.1 상태 전이머신

링크층 실체는 수신된 프레임에서 뽑아낸 제어 옥테트를 가지고 링크의 현재 상태를 알아내고 자신의 상태와 비교하여 상태 전이 머신을 운행한다. 그림 8은 링크층 상태 머신의 일부분이다. 이 상태 머신은 이벤트 중심으로서 링크층 내부에서 이벤트가 발생

하거나 아니면 외부의 입력에 의한 이벤트가 발생하여 상태 천이가 일어나게 되며 링크층은 이 이벤트를 중심으로 링크층의 제어블럭을 운영하면서 지상국과 위성국간의 링크층 프레임 전송을 어려없이 유지한다. 상태천이며신은 입력으로서 링크층의 하위계층으로

Link_State_Machine

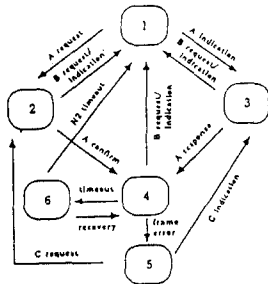
```

switch(링크층 상태) {
case KL_DISCONNECTED :
switch(링크층 프리미티브) {
case CONNECT_REQUEST :
링크층 상태 = KL_CONNECTING ;
Connect_Request 프리미티브를 수신 ;
타이머 세팅 ;
break ;
case SABM :
링크층 상태 = KL_CONNECT_PEND ;
Connect_Indication 프리미티브를 수신 ;
타이머 세팅 ;
break ;
case DM :
break ;
default :
Disconnect_Response 프리미티브를 수신 ;
break ;
}
break ;
case KL_CONNECT_PEND :
switch(링크층 프리미티브) {
case DISCONNECT_RESPONSE :
링크층 상태 = KL_DISCONNECTED ;
Disconnect_Response 프리미티브를 수신 ;
break ;
case CONNECT_RESPONSE :
링크층 상태 = KL_CONNECTED ;
Connect_Response 프리미티브를 수신 ;
break ;
case DISC :
링크층 상태 = KL_DISCONNECTED ;
Disconnect_Response 프리미티브를 수신 ;
Disconnect_Indication 프리미티브를 수신 ;
break ;
default :
break ;
}
break ;
}

```

그림 8. 링크층 상태 천이 머신

- | | |
|--|--|
| <p>링크층 상태</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. KL_DISCONNECTED 2. KL_CONNECTING 3. KL_CONNECT_PEND 4. KL_CONNECTED 5. KL_FRAMEREJECT 6. KL_TIMER_RECOVERY | <p>프리미티브</p> <ol style="list-style-type: none"> A. KL_CONNECT B. KL_DISCONNECT C. KL_RESET D. KL_DATA E. KL_FRAME_ERROR |
|--|--|



a) 연결모드의 상태 천이도

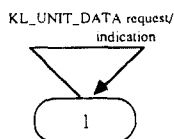


그림 9. 비 연결모드의 상태 천이도

부터 입력과 상위계층으로부터 입력이 있다. 그리고 출력도 또한 링크층의 상위계층으로는 프리미티브로, 하위계층으로는 프리미티브에 해당하는 프레임 단위로 출력된다. 하위계층에서 입력은 프레임의 제어필드 부분을 중심으로 상태천이며신이 진행되며 상위계층에서 입력은 프리미티브에 따라 진행된다. 그림 9는 상태 천이도로서 링크층의 상태천이 머신이 입출력되는 값들에 따라 진행되는 과정을 도식화 한 것이다. 그림 8의 KL_DISCONNECTED 상태는 상하위계층으로부터 입력을 받을 수 있는데, 만일 지상국으로부터 연결요구인 SABM 프레임(=Connect_Indication)을 수신하면 링크층 상태를 KL_CONNECT_PEND 상태로 전환하고 링크층의 상위계층에 Connect_Indication 프리미티브를 전달한다. 그리고 링크층의 상위계층으로부터 Connect_request 프리미티브를 내려받으면 자신의 상태는 KL_CONNECTING 상태로 넘어가고 하위계층에 Connect_request 프리미티브에 해당하는 제어필드가 SABM인 U 프레임을 만들어 지상국에 발송하며, 동시에 타이머 T1을 동작시킨다. 그리고 지상으로부터 다른 프레임이 올라오면 Disconnect_Response 프리미티브에 해당하는 DM 프레임이 지상에 전송된다. 그림 9의 KL_DISCONNECTED 상태는 2 종류의 프리미티브를 발송하면서 KL_CONNECT_PEND 상태와 KL_CONNECTING 상태로 넘어간다. KL_CONNECT_PEND 상태에서는 지상의 연결요구에대해서 상위계층의 결정을 기다리는 상태로서 2가지가 있다. 하나는 상위계층이 기절을 하여 Disconnect_Response가 내려오면 이에 해당하는 프리미티브가 하위로 전송되고 링크층의 상태는 KL_DISCONNECTED 상태가 된다. 다른 하나는 상위계층이 연결을 수락하여 Connect_Response가 내려오면 이 프리미티브에 해당하는 UA 프레임을 지상에 발송하고 링크층의 상태는 KL_CONNECTED 상태가 된다. 또 지상으로부터 DISC(=Disconnect_Request)프레임을 수신하면 링크층은 KL_DISCONNECTED 상태로 넘어가고 상위계층에 해당 프리미티브를 올려주며 Disconnect_Indication에 해당하는 DM 프레임이 지상에 전송된다.

III.6 링크층 제어블럭의 구조

이 구조는 링크층 실체와 상대의 링크층 실체와 정보 전송상태를 관리하기 위한 것으로서 표2와 같으며, 링크층의 상태와 링크의 유지 그리고 예러제어 등을 위해 사용된다.

표 2. 제어블럭 구조

*tx-queue	: 송신큐의 번지
*rx-queue	: 수신큐의 번지
struct addr	: 주소 구조
rejsent	: REJ 송신상태
remo-tebusy	: 원격지 화중 상태
local-busy	: 자신의 화중 상태
response	: 응답 상태
vs	: 송신 상태 변수
vr	: 수신 상태 변수
unack	: ACK를 받지 못한 프레임수
maxframe	: ACK없이 송신 가능한 프레임 수
frame-length	: 정보 프레임의 길이
protocol	: 프로토콜 버전
retry	: 재시도 횟수
N2	: 재시도 최대
link-state	: 링크층의 상태
frmr	: FRMR의 상태
timer1	: 타이머1
timer2	: 타이머2
timer3	: 타이머3

IV. 시 험

IV.1 시험 구조

링크층의 시험은 무선환경에서 위성에 탑재하여 시험하기 전에 먼저 실제 위성과 똑같은 엔지니어링 모델에서 시험한다. 시험구조는 그림 10과 같으며 KAX, 25 링크층 프로토콜을 위성기능을 하는 시험 대상(SUT: System Under Test)에 탑재하여 지상국 기능을 하는 시험 센터(TC : Test Center)와 유선으로 연결하고, 시험 센터에서 준비된 시험 시나리오에 의해서 프로토콜의 기능을 하나씩 시험한다. 시험 센터는 소형 컴퓨터에 RS-232C 케이블을 사용하여 지상 AX.25 프로토콜을 탑재한 TNC(Terminal Node Controller)와 연결을 한다. TNC는 RS 232C 신호 레벨을 이용하여 동기적인 방식으로 시험 대상과 연결한다. 여기서 시험대상으로 사용되는 KASCOM 보드는 차세대 지체도위성에서 사용될 수 컴퓨터부로서 현재 우리별 2호에 탑재되어있다. 그리고 KASCOM보드는 모니터가 없기 때문에 KASCOM보드와 비동기 통신라인으로 연결한 모니터를 이용하여 내부 수행 절차를 모니터 한다. 시험센터는 AX.25 프로토콜을 탑재한 TNC와 시험센터 컴퓨터로 되어 있으며, 시험센터 컴퓨터는 이 TNC를 이용

하여 정보를 전송하면서 위성의 링크층을 시험한다. 점대-점과 점대-다중 연결의 시험은 통신단위로 사용되는 프레임에 여러 주소를 명시하는 방법으로서 여러 사용자의 주소를 이용할 수 있다.

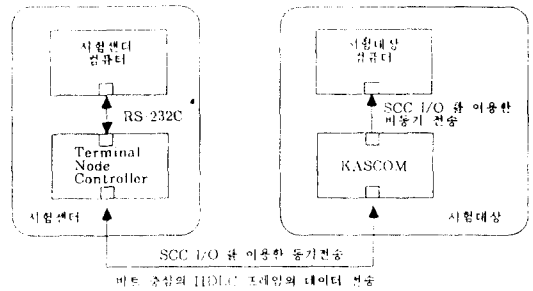


그림 10. 시험 구조

IV.2 시험 시나리오

시험 방법은 시험 센터에서 시험할 항목을 HDLC 프레임 구조로 만들어 시험 대상의 시험 프로토콜에 프레임 단위로 전송한다. 이 프레임은 동기적인 비트 중심의 프레임으로서, TNC에서 출력되는 정보는 HDLC 프레임 구조를 이룬다. 이렇게 전송된 프레임은 시험센터인 KASCOM의 직렬 통신 제어가 수신하여 수신 버퍼에 저장한다. 그리고 이 버퍼는 임 출력 처리기와 링크층 실체에서 넘겨져서 상태 전이 버전을 진행시킨다. 시험 결과로서는 시험센터의 시험 프로토콜이 상위계층에게 전달하는 서비스 프리미티브를 시험대상 컴퓨터에서 출력해보고, KAX, 25의 링크층 실체가 대응하는 TNC 프로토콜에게 응답하는 프레임을 시험센터 컴퓨터에서 수신하여 출력한다.

시험 시나리오는 시험의 완벽도를 결정지어 주는 중요한 요소로 작용하고 있으므로 본 연구는 이전에 연구한 확장 페트리넷을 이용하여 모델링하고 검증한 것을 이 시나리오를 만들어 시험을 해 보고, 또 AX.25 프로토콜의 상태 전이표준 참조하여 모든 경우의 상황을 시험한다.

IV.3 시험

IV.3.1 링크 설정

링크 설정 기능 시험은 지상에서 위성국에게 링크 설정 요구를 하거나, 아니면 위성국에서 지상국에게 링크 설정요구가 있으며 지상에서 요구한 경우에, 위

성 링크층의 상위계층에서 링크 설정을 수락하면, 즉 상위계층에서부터 KL-CONNECT-RESPONSE라는 프리미티브를 받으면 링크층의 상태는 KL-CONNECTED 상태로 넘어가고 링크층 실체는 상대의 실체에게 UA 프레임을 발송한다. 그러나 링크 설정이 거부되면, 위성 링크층의 상태는 KL-DISCONNECTED 상태로 넘어가고 링크층의 실체는 상대의 실체에게 DM 프레임을 발송한다. 그림 11의 결과는 HDLC 프레임 구조를 만들어 시험센터에서 "SABM"이라는 비번호 프레임을 전송한 결과로서 위성 링크층의 상태는 KL-CONNECTED 상태로 넘어가고 상위계층에 KT-CONNECT-INDICATION 프리미티브를 올려주고 난 후, 위성 링크층은 상위계층으로부터 KL-CONNECT-RESPONSE 프리미티브를 내려 받고나서 상대의 TNC에게 "UA"프레임을 전송하면서 링크층 자신의 상태가 KL-CONNECTED 상태로 넘어간다. 반대로 거절된 경우에는 위성 링크층이 상위계층으로부터 거절 프리미티브를 수신한 후, "DM" 프레임을 송신한 결과이다. (F : Final, P : Poll, R : Response, W : unknWn)

```
Tucson Amateur Packet Radio TNC-2
AX.25 Level 2 Version 2.0
Release 1.1.7 2/11/90 - 32k RAM
Checksum $51
cmd:conv
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
cwip0012345
KITSAT>HLOENJ:RRR F1*KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W10KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION 12345
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RDM F**KL_DISCONNECTED
```

그림 11. 링크 설정 과정

IV.3.2 점대 다중 링크 설정

시험센터인 지상에서 두 사용자가 시험 대상인 위성 링크 설정을 요구한 결과로서, 그림 12는 하나의 시험센터에서 두 사용자의 주소값을 사용하여, 여러 사용자가 링크 설정을 이루고, 정보 전송을 하는 과정을 시험한 것이다.

IV.3.3 데이터 전송과 순서번호 에러

지상의 사용자들과 위성의 링크층 실체가 정보 데이터를 송수신하는 과정으로서 확인(Confirm)이 요구되지 않는 서비스이다. 위성의 링크층 상태는 KL-CONNECTED이고, 상위계층에게 KT-DATA-

```
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
cmd:myc h10enj
MYCALL was HLOENJ
cmd:conv
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
cmd:myc h10enj
MYCALL was HLOENJ
cmd:conv
cwip00abcdef
KITSAT>HLOENJ:RRR F1*KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W10KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION abcdef
```

그림 12. 점-대-다중 링크 설정 과정

INDICATION 프리미티브를 올려준다.

그림 13의 결과는 지상에서 정보 데이터를 순서적으로 전송하고, 위성의 링크층 실체가 순서번호 0번의 데이터를 수신하고 다음으로 1번의 데이터를 수신하지 못하고, 2번의 데이터를 수신한 경우에, 위성 링크층 실체는 프레임 거절 조건을 만족하므로 "REJ"프레임을 시험센터에 발송한다. 시험센터에서는 "REJ"프레임을 수신한 후, 위성 링크층 실체가 정보 데이터 1번을 받지 못했으므로 다시 1번의 데이터부터 계속적으로 정보를 전송한다.

```
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
cwip00asdf
KITSAT>HLOENJ:RRR F1*KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W10KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION asdf
cwip02hgh
KITSAT>HLOENJ:RRRJ F1*KL_CONNECTED
cdip01kkk
KITSAT>HLOENJ:RRR F2*KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W20KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION xxx
```

그림 13. 데이터 전송중 순서번호 에러 과정

IV.3.4 정보 전송중 리셋

위성의 링크층 실체가 정보 전송중에서 기대하지 않았던 UA프레임, FRMR프레임 그리고 기타 에러를 복구할 수 없는 프레임을 수신하게 되면, 링크층 실체는 회복할 수 없는 에러로 간주하고 리셋 서비스 기능을 수행하게 된다. 그림 14의 결과 a)는 정보 전송중 시험 대상의 상위계층에서 리셋이 발생하여 링크층이 리셋 요구 프리미티브를 수신한 경우로서, 위성의 링크층은 지상에 링크 재 설정 요구인 "SABM"프레임을 송신하고 자신의 상태는 KL-CONNECTING 상태가 된다. 그리고 지상에서는 응답으로 UA를 송신하고 위성에서 수신한 결과이

다. 또 결과 b)는 지상이 정보 전송 상태에서 위성에서 링크 재 설정을 요구하고 위성에서 응답을 한 결과이다.

```

casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
csp00aaaa
KITSAT>HLOENJ:RRR F1**KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W10KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION aaaa
KITSAT>HLOENJ:CSABM P**KL_CONNECTING
cwf**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECTED KT_CONNECT_CONFIRM
    
```

```

cwf**kkkk
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W**KL_DISCONNECTED KT_UNIT_DATA_INOICATION kkkk
    
```

그림 16. 비 연결 정보 전송

a)

```

casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECTED KT_RESET_INDICATION
    
```

b) 지상에서 리셋트 요구

그림 14. 정보 전송 상태에서 리셋트

IV.3.5 링크 해제

정상적인 정보 전송이 완료되면 지상국이나 위성국에서 링크 해제 서비스를 요구할 수 있다. 그림 15는 위성의 링크층 실체가 자신의 프로토콜 상태메신을 KL-CONNECTED 상태에서 지상국으로부터 링크 해제 프리미티브를 수신한 후에, 자신의 상태를 다음 상태인 KL-DISCONNECTED 상태로 진행시키고 여기에 해당되는 KT-DISCONNECT-INDICATION 프리미티브를 상위계층에게 올려줄 경우와 다른 하나는 위성국에서 지상국에 링크 해제를 요구한 결과이다.

```

casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_CONNECT_PEND KT_CONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_CONNECTED
cwp0012345
KITSAT>HLOENJ:RRR F1**KL_CONNECTED
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W10KL_CONNECTED KT_DATA_INDICATION 12345
casp**
KITSAT>HLOENJ:RUNKNOWN W00KL_DISCONNECTED KT_DISCONNECT_INDICATION
KITSAT>HLOENJ:RUA F**KL_DISCONNECTED
cdsp**
KITSAT>HLOENJ:CDISC P**KL_DISCONNECTING
    
```

그림 15. 링크 해제

IV.3.6 비연결 정보 전송

이 서비스는 지상국과 위성국간에 링크 설정을 하지 않고 비번호 정보 프레임을 이용하여 간단한 정보

V. 결 론

본 연구는 지상의 사용자들에게 AX. 25 프로토콜을 이용한 무선 패킷 통신 서비스를 제공해 주기 위하여 위성용 패킷 통신 프로토콜인 KAX. 25를 개발하기 위한 연구로서 링크층을 차세대 위성용 주 컴퓨터 모드인 KASCOM에서 구현하고 시험한 것이다.

본 연구에서는 동기식 비트 중심의 HDLC 프레임 구조를 지원하는 Z8530 컨트롤러를 가지고 입출력 드라이버, 입출력 처리기 그리고 여러개의 링크층 실체가 생성될 수 있는 링크층 프로토콜을 구현하였고, 각각의 링크층 실체는 자신의 상태 메신을 진행하면서 다중 통신 서비스를 제공해 주고 있다. 시험에 있어서는 지상국과 위성국간에 물리적인 유선 채널로 연결하고, 위성국은 우리별위성과 똑같은 시험 모델인 엔지니어링 모델을 사용하였다. 시험 항목으로는 첫번째 시험을 AX. 25 프로토콜을 이용한 지상의 사용자들이 소형위성에 화일전송 서비스를 요구함에 있어서 일어나는 서비스 절차에 따라 링크층 프로토콜이 상위계층에 전달하는 프리미티브들과 지상국에서 전달하는 프레임을 확인하였다. 이 시험 방법은 전송되는 프레임의 정보부에 프로토콜의 시험항목을 삽입하여 여러가지 상황을 인위적으로 만들어 시험하였다. 둘째 시험으로는 인위적인 상황을 만들지 않고 점-대-점 방식으로 실제 화일을 지상 시험센터에서 시험 대상에게 전송하여 보았으며, 전송 결과는 이프로토콜에서 사용되는 타이머들의 타임아웃 시간과 지연시간에 따라 화일 정보전송이 영향을 받았으며 이 파라미터에 대한 최적의 값을 구하기 위해 새로운 시험 환경이 요구된다.

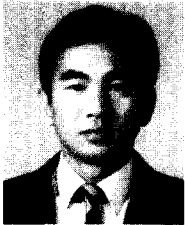
위성국과 지상국간의 무선환경에서 실제적인 액세스 방식에 따른 최종 시험은 시험 환경을 구축하기가 어려운 점이 있어서 다음의 연구과제로서 무선환경

을 모델링하고 시험할 수 있는 시뮬레이션 도구로 이용하여 프로토콜의 성능 평가를 수행할 것이다.

감사의 글 : 본 연구는 한국 과학재단과 한국과학기술원 인공위성연구센터에서 지원한 연구과제의 결과로서 그동안 본 연구를 위해 지원해 주신 관련 기관에 감사드리며 본 연구에 도움을 주신 유재욱씨에게도 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Fos "AX. 25 level protocol", ARRL Amateur radio 3th, Computer Networking Conference, 1984.
2. 박찬왕, 성단근 외 5명, "우리별 1호 위성의 통신 시스템", 텔레콤, 제8권, 제2호
3. 이영로, 김정호, 성단근, 김동규, "소형위성 패킷 통신용 AX. 25 프로토콜의 모델링과 검증" 한국통신학회, 제18권, 제2호, 1993. 2
4. "Byulgigy Spacecraopt Operating System Reference Manual", 과학기술 실험용 인공위성개발에 관한 연구, 과학기술처, 1993.
5. 성단근, "프로토콜 설계기법", 전자통신 TM047, 1989. 6.
6. 최양희, "프로토콜 공학", 정보통신 연구회지 제 1권, 제1호, 1987. 7.
7. G.V. Bochmann, E.Cerny "Use of Formal Specification for protocol design, implementation and testing", Protocol Specification, Testing and Verification, pp 137-144, 1984.
8. E. L. Scaee, "AX. 25 Link Multiplexer State Machine, Data Link State Machine", ARRL Amateur radio 7th., Computer Networking Conference, 1988.
9. "Z85C30 Serial Communications Controller Technical Manual", Advanced Micro Devices.
10. B.N.Jain and A.K.Agrawala, "Open System Interconnection", Elsevier Pub. 1990.



李 英 魯 (Young Ro Lee) 正會員
 1982년 : 원광대학교 수학과 학사
 1984년 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과 석사
 1991년 ~ 현재 : 아주대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사과정
 1990년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술원 연구원

※주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 프로토콜공학, 위성통신



金 東 圭 (Dong Kyoo Kim) 종신회원
 1947년 2월 7日生
 1972년 2월 : 서울대학교 공과대학 줄(공학사)
 1979년 2월 : 서울대학교 자연과학대학원 줄(이학석사)
 1984년 7월 : 미국 Kansas State University 대학원 줄(Ph.D. 정보통신 전공)

1972년 ~ 1976년 : 한국과학기술연구소 (KIST) 연구원
 1976년 ~ 1979년 : 한국전자통신연구소 (KIET) 선임연구원
 1981년 ~ 1982년 : 미국 Kansas State University 전자계산학과 Instructor

1979년 ~ 현재 : 아주대학교 전자계산학과 교수

※주관심분야 : 데이터 통신/컴퓨터 네트워크, 정보통신 Protocol engineering, Security, CIM 분산처리



成 權 根 (Dan Keun Sung) 正會員
 1975년 : 서울대학교 전자공학과 학사
 1982년 : 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 석사
 1986년 : 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 박사
 1986년 ~ 현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수

1977년 ~ 1980년 : 한국통신기술연구소(현ETRI) 연구원

※주관심분야 : B-ISDN, 개인휴대통신, 프로토콜공학, 트래픽 제어, 위성통신