

우리별 위성 패킷 통신 프로토콜의 모델링과 검증

이 영 로

충남 산업대학교 전자계산과

성 단 근

한국과학기술원 인공위성연구센터

MODELLING AND VERIFICATION OF KITSAT PACKET COMMUNICATION PROTOCOLS

Young-Ro Lee

Department of Computer Science, Chungnam Sanup University

Dan Keun Sung

Satellite Technology Research Center, KAIST, Taejon 305-701

(Received March 20, 1996; Accepted May 4, 1996)

요 약

본 논문은 우리별 1, 2호에 탑재된 패킷 통신 프로토콜을 이론적으로 검증하기 위해, 먼저 AX.25 프로토콜과 PACSAT 프로토콜을 확장형 페트리 넷으로 모델링하고, 도달성 나무 기법을 이용하여 패킷 프로토콜에 대한 정확성, 제한성, 생존성, 그리고 데드락 없음 등을 검증한다.

ABSTRACT

In this paper, in order to verify KITSAT 1/2 packet communication protocols, we model the AX.25 protocol and PACSAT protocol by using an extended Petri net and then verify the correctness, boundedness, liveness and deadlock freeness of packet protocols by utilizing reachability trees.

1. 서 론

프로토콜이란 네트워크상의 병렬적으로 처리되는 노드들에 상주하는 통신 실체들 사이에서 상호 작용하도록 정의하는 규약이다. 이런 것들의 설계는 항상 어려움이 있었으며, 지난 20

표 1. 프로토콜 공학.

분 야	내 용
설 계	주어진 요구사항을 만족시키는 프로토콜을 설계함.
규격화	유한상태머신들을 사용하여 프로토콜이 에매모호하지 않고 불완전하지 않도록 정의함.
검 증	실제적인 구현을 하기 전에 형식적으로 표현된 프로토콜의 정확성, 완전성, 데드록 없음 등을 알아냄.
구 현	규격에 대한 적합성, 신뢰성 등을 고려하여 효과적으로 구현.
시 험	구현된 제품을 규격과의 일치성, 성능 등을 시험.

여년 동안 프로토콜을 설계하기 위해 비형식적인 기술을 사용하였지만, 예러나 기대하지 않았던 그리고 요구하지 않았던 결과가 발생할 수 있었다. 그래서 프로토콜 설계의 형식적인 (formal) 방법이 약 10년 전부터 등장하게 되었고, 형식적인 접근 방법으로 프로토콜의 정확성과 성능 등을 시간적 논리(temporal logic), 페트리 네트, calculus of communication system(CCS) 등과 같은 논리적인 방법으로 시험하게 되었다(Bochmann & Sunshine 1980, Choi 1985). 이런 방법들이 많은 예러에 대해 매우 효과적이어서, 최근 이 분야의 연구에 많은 관심을 가지고 진행 중에 있다. 프로토콜 공학의 단계는 표 1과 같이 먼저 설계자가 요구사항들을 형식적으로 규격화하고 정확성, 데드록 없음 등을 검증한다. 그리고 효과적인 개발을 고려하여 형식적인 규격을 잘 구현하고 규격에 대한 일치성을 시험한다.

본 논문은 차세대 위성의 통신 프로토콜을 개발하기 이전에 프로토콜의 모델링과 검증에 관련된 연구 내용이다. 본 논문의 주요 구성으로 2장에서는 우리별 위성에 탑재된 패킷 무선 프로토콜 구조를 알아본다. 그리고 현재 우리별에 탑재된 패킷 무선 프로토콜이 아직 이론적으로 검증되지 않았으므로 3장에서는 이 프로토콜을 확장된 페트리 네트로 모델링하고, 4장에서는 도달성 나무 기법을 이용하여 검증하며, 5장에 결론을 둔다.

2. 우리별 위성의 패킷 통신 프로토콜

2.1 패킷 무선 프로토콜

패킷 무선 프로토콜은 약 10여년 전 컴퓨터 동호인들끼리 상호간에 메시지를 교환하기 위해 아마츄어 통신 모임에서 링크기능과 중계기능을 가진 AX.25 프로토콜을 지상 아마츄어 무선 표준 프로토콜로 규정하였다(Eric 1988). 그 후 프로토콜에 대한 새로운 제안들이 나왔으며, 이 프로토콜을 저궤도 아마츄어 위성에 탑재하기에 이르렀다. 현재 이 프로토콜은 지상 아마츄어인들이 활발히 사용하고 있을 뿐만 아니라 패킷 무선 프로토콜의 표준으로서 다른 통신 프로토콜과 결합하여 여러가지 새로운 서비스를 제공할 수 있도록 연구되고 있다. 그리고 우

주에서 AX.25 프로토콜은 파일전송 프로토콜인 PACket SATellite(PACSAT) 프로토콜(Herald 1990)과 결합하여 저궤도 위성용 패킷 통신 프로토콜이 되었으며, 이 위성용 패킷 통신 프로토콜은 우리별 위성의 패킷 통신 프로토콜로 활용되고 있다. PACSAT 프로토콜은 지상 무선게시판 기능과 전자우편 서비스를 기초로 하여 위성용 전자게시판과 전자우편 서비스를 제공하는 프로토콜로서, 이 프로토콜은 영국의 UoSAT-3 위성에 최초로 탑재되었고, 현재에는 우리별과 같은 많은 위성들에 탑재되어 지상 사용자들에게 여러가지 서비스를 제공하고 있다.

2.2 우리별 위성의 패킷 통신 프로토콜

우리별 위성의 패킷 통신 프로토콜은 그림 1에서 보는 바와 같이 지상에서 사용되는 통신 프로토콜과는 약간 다른 점이 있다. 물리층은 FSK, AFSK 방식의 변복조를 통하여 9,600bps 전송속도로 위성국과 지상국간에 비트 중심의 데이터들이 전송된다(박찬왕 등 1992, 박찬왕 등 1994). 이런 비트 중심의 데이터들이 모여서 하나의 프레임을 구성하는데, 여기서 사용되는 프레임 단위는 high level data link controller(HDLC) 프레임 구조를 이룬다. 링크층은 크게 매체 액세스 기능과 논리기능으로 구별되며, 먼저 매체 액세스 기능을 알아보자. 우리별 위성을 이용한 통신시스템에서는 지상국과 위성국간의 링크층이 상호 다른 점이 있다. 그 이유는 서버의 기능을 하는 하나의 위성과 사용자 중심인 여러 개의 지상국들이 서로 통신을 하기 위해서는 지상국들이 위성의 통신채널을 확보하기 위해서 서로 경쟁을 해야 한다. 그래서 지상국과 위성국간에 데이터 전송률을 높이기 위해서 매체 액세스 프로토콜을 사용해야 하며, 현재 사용되는 프로토콜은 ALOHA 방식에 위성의 채널상태를 방송해주는 기능을 추가하여 사용하고 있다. 그러나 위성국은 이런 매체 액세스 기능이 필요 없고 단지 상위 계층에서 보내오는 데이터를 지상에 방송하기만 하면 되므로 지상국 기능보다 간단하다. 링크층의 논리기능은 위성국과 지상국이 같아야 하며, 현재 사용되는 프로토콜은 LAPB이다.

응용층		응용층	응용층
표현층			
세션층			
전달층		접속층	전달층
중계층		공백(NULL)	중계층
링크층		링크층	링크층
물리층		물리층	물리층

OSI프로토콜 구조 위성의 프로토콜 구조 지상 프로토콜

그림 1. 우리별 위성 통신 프로토콜과 개방형 프로토콜의 비교.

계층 3과 4는 전송되는 메시지가 원하는 목적지까지 잘 전송될 수 있도록 패킷 단위의 정보를 중계하는 기능으로서 현재 지상 아마추어 무선패킷 통신 프로토콜에서 사용되고 있다. 그러나 우리별 위성은 주회하는 위성이기 때문에 주회하는 위성의 통신영역에 있는 지상국들만의 메시지를 수집하여 관리하면서 지상국들의 수신요구가 있을 때 전달해주는 기능을 해주므로 계층 3의 중계층이 필요 없고 단지 위성에 수신된 패킷 정보를 상위 계층인 응용층에 잘 분배해주는 기능이 요구되므로 위성의 계층 4 부분은 응용층과 링크층의 접속을 담당하고 있다. 그러나 앞으로 연구과제로서 우주상공에 여러 개의 위성이 발사되어 위성과 위성간의 통신이 이루어지게 되면 계층 3과 4 부분이 첨가되고 수정되어야 할 것이다. 위성의 응용층은 화일전송 프로토콜과 방송형 화일전송 프로토콜을 사용하면서 여러 지상국과 위성간의 특수 환경을 고려한 축적 및 전송방식 서비스를 제공하고 있다.

3. 확장형 페트리 넷를 이용한 프로토콜의 모델링

3.1 페트리 넷

본 연구에서는 통신 프로토콜 실체가 일을 수행함에 따라서 내부 상태가 변하는 상태를 상태 중심의 형식 기술 방법의 하나인 페트리 넷를 이용하여 기술하였다(Bochmann & Sunshine 1980). 페트리 넷는 시스템을 구현하기 전에 정보나 프로토콜의 흐름을 분석할 수 있고 다양한 시스템에 적용이 가능한 도식적, 수학적 모델링 도구로서 1962년 Carl Adams Petri 에 의해서 제안되었다. 그 이후 몇 사람에 의해 수정 및 확장되어져 시스템 모델링 도구로 많은 분야에서 이용되고 있으며, 페트리 넷는 동시 수행 가능한 실체들끼리의 상호 작용을 나타내는 통신 프로토콜, 분산 시스템 등의 분야에 자주 이용되고 있다(Razouk & Phelps 1984). 페트리 넷 모델의 분석은 시스템에 대한 생존성, 제한성, 보존성, 도달성 등의 특성을 파악할 수 있으며, 이를 위해 도달성 나무 기법과 행렬 방정식 기법 등의 분석방법이 있다. 그러나 기존 페트리 넷 모델은 시간 개념이 없어 시간 개념이 요구되는 모델링을 위해 시간부착 페트리 넷 모델들이 소개되었다(Terry 1984).

본 논문은 기존 페트리 넷에 타이머와 계수기 기능을 부착한 확장 페트리 넷를 이용하여 패킷 무선 프로토콜을 모델링한다(노철우와 성단근 1991). 일반적으로 타임 페트리 넷에서는 천이의 발사시간을 $[T1, T2]$ 형태로 나타낼 때, $T1$ 은 최소의 발사 가능한 시간을 나타내고 $T2$ 는 발사될 수 있는 최대의 시간을 나타낸다. 본 논문의 프로토콜에서는 원하는 메시지가 일정한 시간($T1$)까지 오지않으면 다시 재전송하며, 이 재전송의 횟수가 일정 한계치인 $N2$ 번까지 이 과정을 반복하게 된다. 이런 모델에서는 $T1 = T2$ 에 해당하므로 간단히 $[T1]$ 으로 모델링하고, 이 타이머는 $T1$ 의 한계시간을 가지고 토큰을 일정 한계치인 $N2$ 개까지 계속 생성하여 계수기에 쌓이게 되며, 만일 원하는 메시지가 도착되거나 토큰이 $N2$ 보다 클 경우 이 계수기는

종료된다. 그리고 T1의 타이머가 N2번 반복하는 동안에 원하는 메시지가 도착되지 않으면 이것은 타임아웃되어 정상적인 절차 상태로 처리가 되지 않고 비정상적인 상태(타임아웃 회복상태, 초기상태)로 돌아가는 처리기능을 그림 2와 같이 모델링한다.

3.2 링크층 프로토콜 모델링

3.2.1 링크층 프로토콜

우리별 위성은 과학위성으로서, 위성에 탑재된 탑재물들의 실험 결과를 지상에 전송시키는 임무와 일반 사용자들에게 메시지를 전달해 주는 서비스 임무를 제공하는 것이다. 우리별 위성은 이런 위성 서비스를 제공하기 위해서 지상에서 사용되고 있는 AX.25 프로토콜을 근거로 하고, 위성환경을 고려한 qAX.25 프로토콜을 통신 탑재물에 탑재하여 지상의 일반 사용자들에게 서비스를 제공하고 있다. qAX.25 프로토콜은 물리층과 링크층 그리고 링크층과 응용층을 접속해주는 접속층으로 되어 있으며, 링크층은 AX.25 프로토콜을 사용하고 있다. AX.25 프로토콜은 다른 계층의 존재와는 독립적으로 다양한 종류의 통신 링크를 통하여 데이터를 전송할 수 있도록 고안된 것으로서, 이것은 확장된 주소 필드와 비번호 정보 프레임의 추가를 제외하고는 대부분 X.25 권고를 따른다. 또 주소 필드에 의해서 구별되는 단일 공용채널위에서 다중링크 사용은 CCITT 권고 Q.921의 원칙을 따르고 있다.

3.2.2 링크층 프리미티브

링크층 프로토콜은 두 국-대-국 사이에서 프리미티브의 상호 동작으로 묘사되는데 이를 페트리 넷으로 모델링하기 위해 나타나는 약어와 프리미티브를 표 2에 소개하며 프로토콜의

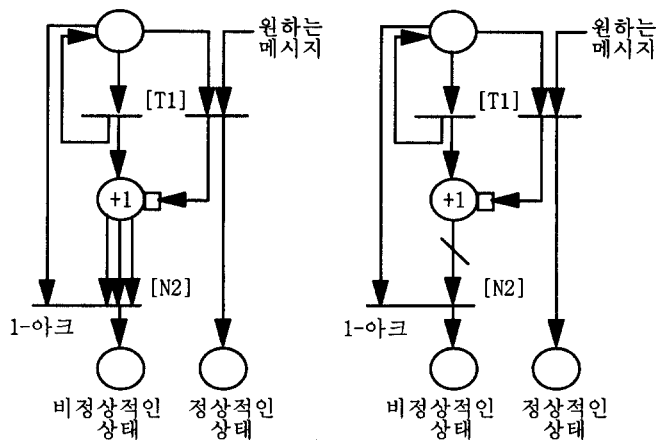


그림 2. 확장된 페트리 넷.

표 2. 링크층 프리미티브.

외부 메시지		내부 메시지	
ERqst	DL Establish Request	I	Information
EInd	DL Establish Indication	RR	Receive Ready
EConf	DL Establish Confirm	RNR	Receive Not Ready
ERqst	DL Release Request	REJ	REJect
RInd	DL Release Indication	SABM	Set Asynchronous Balanced Mode
RConf	DL Release Confirm	DISC	Disconnect
Data	DL Data Request	DM	Disconnected Mode
DInd	DL Unit Data Request	UA	Unnumbered Acknowledge
UDInd	DL Unit Data Indication	FRMR	FRaMe Reject
call busy	already connected to another station	UI	Unnumbered Information
busy	temporarily busy	I*	out of sequence frame
ERROR	DL Error Indication	I**	non recoverable error
상태		국부적 절차	
S0	Disconnected	R*	Timer Recovery procedure reset procedure
S1	Awaiting Connection		
S2	Awaiting Release	R**	
L1	Link Setup		타이머와 카운터
D1	Awaiting Acknowledge		
D2	received I & not ack'd		
D3	all frame ack'd		
D4	device busy		
D5	remote device busy		
S3	D1, D2, D3	T1, T2, T3	
Anv	D1, D2, D3, R*		

절차 과정을 몇 단계로 나누고 각각에 대하여 두 국-대-국의 상태 변화를 모델링한다(이영로 등 1993).

3.2.3 링크 설정 과정 모델링

링크 설정은 상위 계층으로부터 링크 설정요구(ERqst)가 있을 때 링크층에서는 그림 3과 같이 연결하고자 하는 상대국에게 SABM 프레임을 송신하고 자신의 국은 S1 상태에서 타이머 T1을 가동시킨다. 그리고 상대국으로부터 일정 시간인 T1 시간내에 원하는 프레임을 받지 못하면 다시 S1 상태로 복귀하여 타이머 T1을 다시 가동시킨다. SABM을 재전송할 때마다 재전송 횟수의 계수기는 1만큼씩 증가하며 원하는 프레임(UA, DM)이 T1 타이머가 N2번 완료될 때까지 도달하지 않으면 비정상적인 도달상태로서 링크연결이 실패한 상태가 되어 상위 계층에게 연결 실패를 알려주고 자신은 S0 상태로 넘어간다. 그러나 N2번 완료되기 전에 프레임이 도달하면 S1 상태에서 원하는 프레임(UA, DM)과 천이가 발생되어 계수기는 재설정되고 상태는 D3으로 넘어가면서 상위 계층에게 링크가 연결되었음을 알려주고, 상대국과 똑같이 D3 상태로 넘어간다. 그리고 만일 상대국이 대화중일 경우는 상위 계층에게 링크 설정 불가(Rlind)가 전달되고 링크 요구가 실패로 돌아간다.

3.2.4 정보전송과정의 모델링

현재 지상망과 위성에서 사용되고 있지만 아직 이 링크층 프로토콜이 이론적으로 검증되지 않아서 이 프로토콜을 확장된 페트리 넷트 도구를 이용하여 모델링하였다. 그림 4는 위성국과 지상국간에 링크가 설정되고 정보 전송이 이루어지는 과정으로서, 양측은 링크 절단 요구가 있을 때까지 서로 정보를 주고 받게 된다. 이 경우 양국은 I, S, U, UI 프레임을 모두 교환할 수 있으며 이 과정에서는 송수신측의 상태와 프레임 에러 발생에 따라 크게 4가지로 나누어 지는데 본 논문에서는 정상 상태에서 정보 전송의 경우만을 모델링한다.

3.3 파일전송 프로토콜 모델링

3.3.1 파일전송 프로토콜

우리별 위성은 위성용 패킷 통신 탑재물인 PACSAT이라는 파일전송 프로토콜을 사용하여 지상 아마추어인들에게 지상의 무선 게시판과 같은 서비스를 제공하기 위해서 전송된 메시지의 발신지, 착신지, 제목, 저장시간, 크기 등을 관리하여 각 지상국 사용자들에게 메시지 화일을 편리하게 사용하도록 한다(박찬왕 등 1994). 이 프로토콜은 지상국들간에 축적 및 전송 방

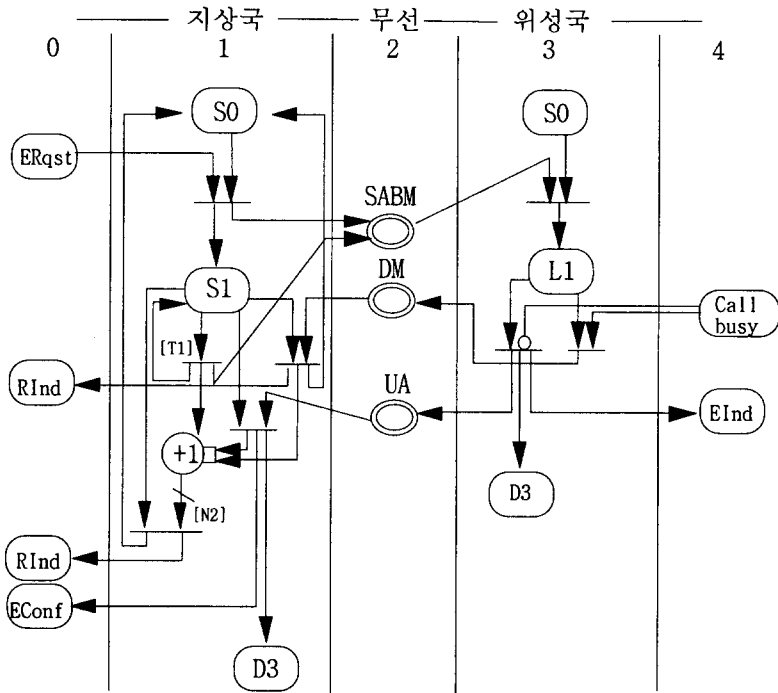


그림 3. 링크 설정 과정.

식으로 메시지를 전달해주는 서비스를 제공하기 위해서, 지상에서 위성에 메시지 화일을 업로드할 경우는 연결형 화일전송 프로토콜인 File Transfer Level 0(FTL0)를 사용하고, 위성에서 지상에 화일을 다운로드할 경우는 방송형 화일전송 프로토콜을 사용한다. 이 프로토콜은 하위 계층으로 qAX.25 프로토콜을 사용하고 있으며, qAX.25 프로토콜은 연결형 모드와 비연결형 모드 서비스를 이용하여 상위 계층의 화일전송 프로토콜 서비스를 제공하고 있다. 응용층인 화일전송 프로토콜은 연결형 화일전송 프로토콜과 방송형 화일전송 프로토콜로 구성되었으며, 방송형 프로토콜은 위성의 특징인 일-대-다중으로서 많은 지상 사용자들의 요구에 따라 메시지 화일을 방송해줄기 때문에 응용층의 상태천이머신과 관련없이 메시지 화일의 번호 순서대로 방송해버린다. 그러면 지상 사용자들은 번호 순서대로 수신된 패킷을 재구성하여 화일을 생성한다. 만일 수신중에 패킷이 분실되거나 깨지면, 마지막에 다시 분실된 패킷만을 재요구하여 화일을 생성하게 된다. 연결형 화일전송 프로토콜은 하나의 지상국-대-위성으로서 FTL0 프로토콜의 상태천이머신에 따라 패킷을 주고 받으면서 에러복구를 수행한다. 이렇게 하여 위성이 지상의 메시지 화일을 에러없이 안전하게 수신하여 위성의 디렉토리 관리 정보를 이용하여 수신된 화일을 관리하게 된다. 그러므로 먼저 FTL0 프로토콜이 이론적으로 완전한 프로토콜인가를 검증해야 하므로 다음 절에서 이 프로토콜을 검증하기 위해 먼저 페트리 넷으로 모델링한다.

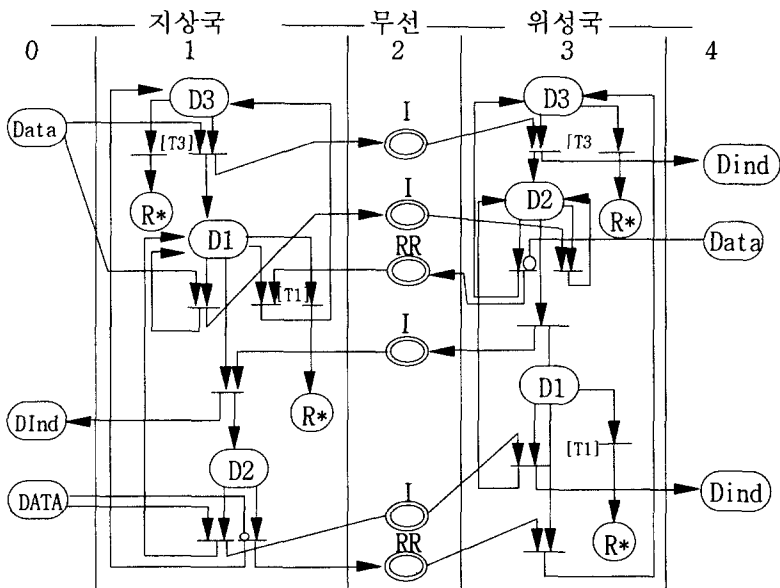


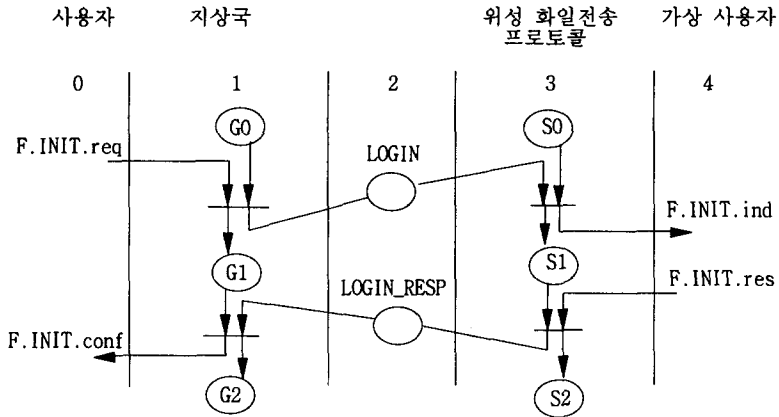
그림 4. 정보 전송 과정 모델링.

3.3.2 로그인과 세션의 초기화의 모델링

FTL0 프로토콜은 전이중 메시지 전송을 지원하고 있으며, 하위 계층으로는 AX.25 프로토콜을 사용하고 있다. 이 프로토콜은 지상국 사용자를 클라이언트, 위성을 서버라고 하고 서버는 지상망에서와 같이 헤더를 포함한 화일들을 저장하고 있으며, 헤더는 화일과 몸체에 관한 정보를 가지고 있다. 몸체는 화일의 데이터 부분으로 이진 데이터, ASCII, 디지털 음성 등이 될 수 있고 클라이언트와 서버는 AX.25 링크상에서 화일들을 주고 받는다. 표 3은 FTL0 프로토콜의 상태천이도에서 상태 변수값이고, 그림 5는 세션의 초기화를 페트리 넷으로 모델링한 것으로서 클라이언트와 서버 사이에 링크가 설정되면 클라이언트는 등록되었다고 간주하며 서

표 3. 상태천이값.

지상국 상태천이값	위성국 상태천이값
G0 : UL_UNINIT,DL_UNINIT	S0 : UL_UNINIT,DL_UNINIT
G1 : UL_CONNECT_PEND,DL_CONNECT_PEND	S1 : UL_CONNECT_PEND,DL_CONNECT_PEND
G2 : UL_COMMAND_OK,DL_COMMAND_OK	S2 : UL_COMMAND_OK,DL_COMMAND_OK
G3 : UL_WAIT,DL_COMMAND_OK	S3 : UL_UPLOAD_PEND,DL_COMMAND_OK
G4 : UL_DATA,DL_COMMAND_OK	S4 : UL_DATA_RECEIVE,DL_COMMAND_OK
G5 : UL_END,DL_COMMAND_OK	S5 : UL_ACK_PEND,DL_COMMAND_OK

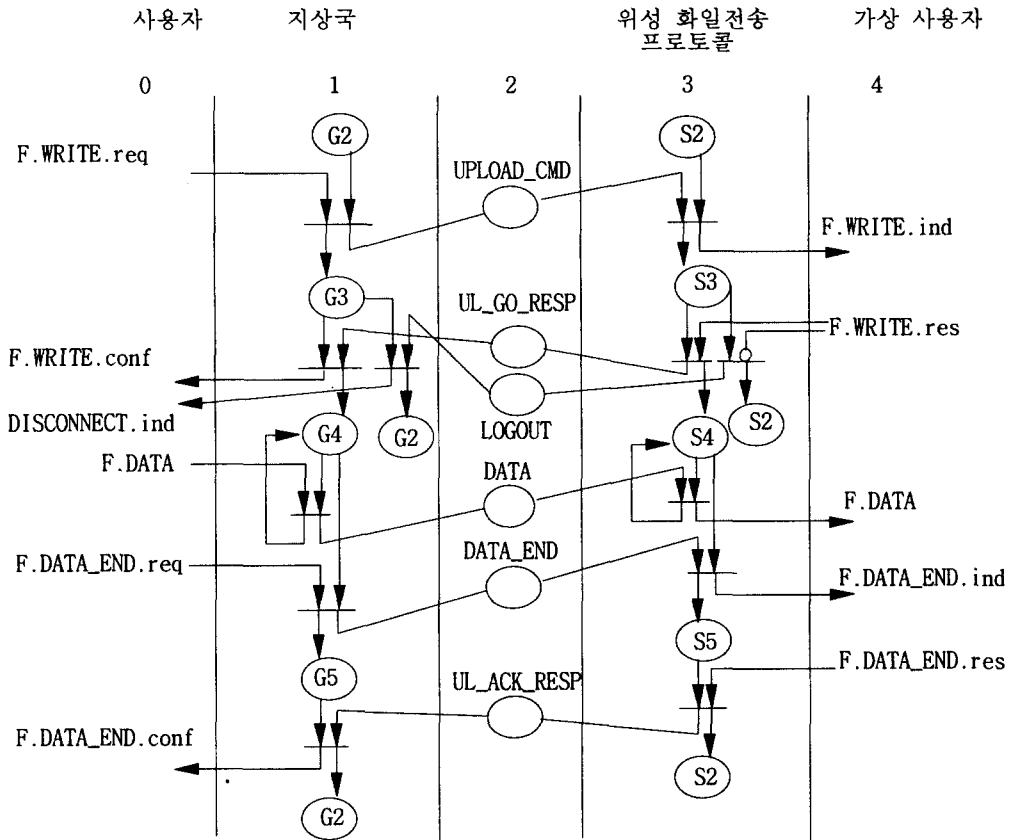


프리미티브와 제어 패킷

- F.INIT.req: FILE.INITIALIZE.request
- F.INIT.conf: FILE.INITIALIZE.confirm
- LOGIN: LOGIN
- F.INIT.ind: FILE.INITIALIZE.indication
- F.INIT.resp: FILE.INITIALIZE.response
- LOGIN_RESP: LOGIN_RESPONSE

그림 5. 세션의 초기화 모델링.

며 서버는 로그인-패킷을 클라이언트에게 송신하고 서버는 자신의 업로드 상태변수를 UL-CMD-OK, 다운로드 상태변수를 DL-CMD-OK로 초기화시킨다.



프리미티브와 제어 패킷

- | | |
|--|--|
| F.WRITE.req: File WRITE request | F.WRITE.ind: File WRITE indication |
| F.WRITE.conf: File WRITE confirm | F.WRITE.res: File WRITE response |
| F.DATA_END.req: FILE DATA_END.request | F.DATA_END.ind: FILE DATA_END.indication |
| F.DATA_END.conf: FILE DATA_END.confirm | F.DATA_END.res: FILE DATA_END.resp |
| UPLOAD_CMD: UPLOAD_COMMAND | UL_GO_RESP: UPLOAD_GO_RESPONSE |
| UL_ACK_RESP: UPLOAD_ACK_RESPONSE | |

그림 6. 파일 업로드의 모델링.

3.3.3 화일 업로드의 모델링

클라이언트의 업로드 상태변수가 UL-CMD-OK이면 지상국 사용자는 위성에 업로드할 수 있으며 이에 대한 서버의 응답은 업로드가 가능하면 UL-GO-RESP 패킷, 가능하지 못하면 에러 패킷으로 응답한다. 그림 6은 업로드 상태를 모델링한 것으로서, 지상 사용자의 화일이 전송되면 다시 세션의 초기상태로 돌아간다.

4. 도달성 나무를 이용한 프로토콜의 검증

4.1 도달성 나무

도달성 나무는 페트리 넷의 도달성 집합을 표시하는 그래프로서 이것은 프로토콜의 실행들 사이에서 전체적인 상태를 노드들로 나타내고 천이를 가지로 표시하는 도달성 그래프를 만든 후, 초기의 상태에서부터 점차적으로 도달되는 상태를 나타낸다. 도달성 그래프는 유한 또는 무한일 수도 있는데, 유한일 경우 모든 가능한 천이 순서를 포함하고 있어서 여러 상태를 확인할 수 있다. 뿌리 노드에서 시작한 도달성 그래프는 모든 천이 가능한 순서를 표시하고, 잎 노드는 앞에서 만들어진 노드와 같은 노드이거나 최종 노드이며, 최종 노드는 모든 프로세스가 최종 상태에 있고 모든 채널이 비어있는 상태를 말한다. 도달성 나무를 이용한 도달성 분석법은 유한상태머신 모델을 규정하는 프로토콜에서 발생할 수 있는 여러가지 오류 등을 검출할 수 있다(이영로 등 1993). 일반적인 도달성 나무는 모든 장소의 집합을 마킹 상태로 표시하여 천이에 따른 토큰의 이동을 나타낸다. 그런데 본 논문에서는 모든 장소의 집합을 나타내면 그 종류가 많고 복잡하여 분석 도구로서의 기능을 수행할 수 없어 링크층 프로토콜의 특성에 맞도록 작성된 확장된 페트리 넷에 근거하여 도달성 나무를 표현한다.

4.2 링크층 프로토콜의 검증

4.2.1 정보전송과정의 도달성 나무

그림 7은 양국이 정보 전송 상태인 (D3, D3) 상태에서부터 출발하여 타임아웃 조건인 [T3]과 송신한 데이터에 따라 양국이 응답을 기다리는 (D3, D3) 상태에서는 타임아웃 조건[T1]에 따라 (R*, D3) 상태, 송신된 데이터 정보 프레임을 받고 상위 계층에 DInd를 송신, (D1, D2) 상태, "2"로부터 "1"이 RR을 수신한 (D3, D3) 상태로 나누어지게 된다. 계속해서 (D3, D3) 상태의 출발에서 (R*, R*), (D3, D3), (D1, D1),... 등의 상태로 상태천이가 일어나게 되며, (D1, D2) 상태는 (R*, D2), (D1, D2), (D1, D1), (D1, D3), (D1, D2) 상태들로 상태천이가 일어나며 두개의 (D1, D2) 상태는 확장 페트리 넷 모델링에서 (D2, D1) 상태로 넘어가 결국 그림 8의 (D1, D1) 상태에서 (D2, D1) 상태로 넘어간 상태와 동일하게 된다. (R*(k), ANY) 상태는 타이머 회복 절차에 따라 타이머들에 의하여 (S0, S0) 상태와 (D3, D1) 상태로 넘어가게 된다. 그리고 (S3, S3) 상태는 마침내

(D3, D3) 상태로 넘어가게 된다.

4.2.2 정보전송 도달성 나무의 검증

그림 8에서 정확성은 프로토콜이 초기상태인 (D3, D3) 상태에서 출발하여 정보를 전달하기 위해서는 정보전송상태인 (D3, D3) 상태로 넘어간다. 그리고 정보전송이 이루어지면 그림 7과 같이 (R*, R*), (R*, D(K)), (D3, D*), (D3, D3), (D2, R*), (D1, D1), (D1, D2) 등의 상태로 넘어감을 알 수 있다. 이와 같이 여러가지 상태로 상태천이머신이 변화하지만 결국에는 타이머 회복절차와 에러회복절차에 의해서 정보전송상태인 (D3, D3) 또는 연결해제 상태인 (D0, D0) 상태로 넘어간다. 그러므로 이 프로토콜은 정확성의 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. 복수성 성질은 비정상적인 상황이 발생한 후에 유한시간이 지나면(R*), 프로토콜이 타이머 회복절차에 의해서 정상 상태로 되돌아감을 알 수 있었으며, 거절 프레임이나 프레임 거절 프레임을 보내어 정보를 재전송하거나 링크를 재설정하는 기능으로 정상 상태로 돌아감을 알 수 있었다. 제한

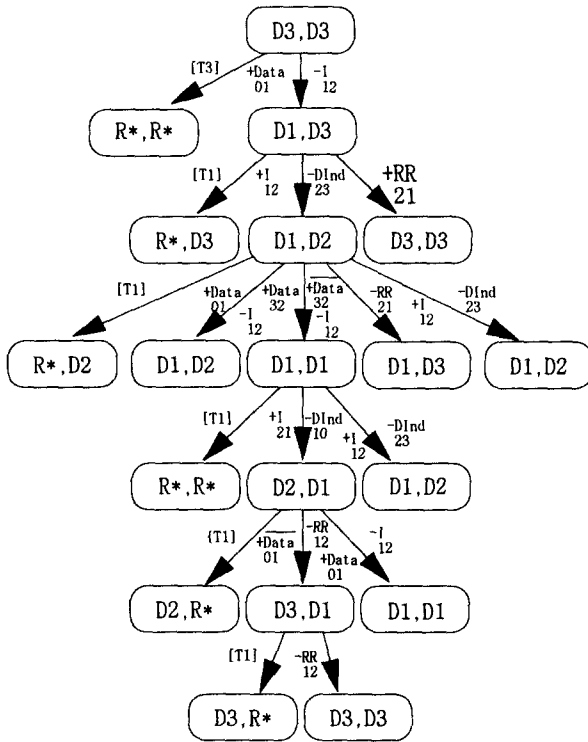


그림 7. 정보 전송 도달성 나무.

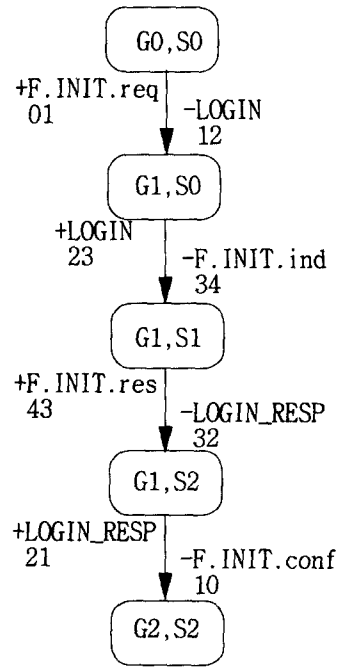


그림 8. 세션의 초기화 도달성 나무.

성 성질은 이 프로토콜이 동작 중에 각 채널에서 메시지 재시도 횟수[N2]를 두어 메시지가 무한정 증가함을 타임아웃기능으로 방지함을 알았다. 생존성 성질로서 이 프로토콜은 임의의 상태에서 다시 자신의 상태로 되돌아감을 확인하였으며, 통신하는 양 국이 모두 원하는 메시지를 기다리고 있을 때 설계상의 오류나 선로상의 고장으로 메시지가 오지않고 데드록 상태에 빠지지 않고 일정시간이 지나면 데드록 상태에서 벗어남을 확인하였다. 이와 같은 검증 성질에 의해서 링크층 프로토콜의 상태천이머신은 정상 동작함을 알았다.

4.3 화일전송 프로토콜의 검증

4.3.1 세션 초기화의 도달성 나무

세션 초기화의 페트리 넷 모델링은 지상국과 위성국이 하위 계층인 링크층을 이용하여 연결설정을 하고, 지상국의 화일전송 프로토콜에서 위성국에 화일전송 프로토콜의 세션 초기화를 요구한 상태이다. 그림 8은 세션 초기화의 모델링에서 상태값들이 수신한 값과 송신한 값에 따라 상태가 천이됨을 나무 기법을 이용하여 도식하였다. (G0, S0) 상태는 세션이 열리지 않은 초기상태로서, 지상국 사용자가 세션이 개정될 것을 요구한 후, 위성국이 세션을 개설해 준 상태 (G2, S2)이다.

4.3.2 정보전송과정의 도달성 나무

그림 9는 정보전송 페트리 넷의 모델링을 도달성 나무로 변환시킨 것이다. 정보전송의 초기상태 (G2, S2)는 지상국 상태가 G2, 위성국 상태가 S2로서 지상국으로부터 F.WRITE.req 프리미티브를 수신하고, UPLOAD_CMD 패킷을 위성에 송신하면 자신의 상태는 (G3, S2)가 된다. 이와 같이 지상국과 위성국간에 프리미티브와 제어패킷을 주고 받으면서 상태 천이가 일어난다. 그림 9는 (G2, S2)에서 상태가 천이되면서 결국에는 다시 (G2, S2)로 돌아가게 된다.

4.3.3 FTL0 프로토콜의 검증

그림 9에서 화일전송의 초기상태값인 (G2,S2)에서 시작하여 다시 (G2,S2) 상태로 넘어감을 알 수 있으므로 이 프로토콜이 정확성의 성질을 가지고 있으며, 이 프로토콜은 제한된 시간 내에 외부로부터 메시지가 도달하지 않아도 하위 계층의 AX.25 프로토콜의 타임아웃기능과 자신의 타임아웃기능으로 비정상적인 상태로 천이되지 않고 정상 상태로 남아있으므로 복구성 성질을 만족한다. 제한성 성질은 이 프로토콜이 하위 계층의 제한성인 메시지 재시도를 이용하고 있으며, 무한정 메시지의 갯수가 증가하면 타임아웃기능을 이용하였다. 이 프로토콜의 생존성은 이 프로토콜이 임의의 상태에서 다시 자신의 상태로 되돌아감을 말하며, 정보 전송의 경우, (G2, S2) \Rightarrow (G3, S2) \Rightarrow (G3, S3) \Rightarrow (G2, S2) 상태로 다시 되돌아감을 알았고, 통신하는 지상국과 위성국이 모두 원하는 메시지를 기다리고 있는 데드록 상태에 들어갔을 때 일정 시간이 지나면 타이머에 의해서 데드록 상태에서 벗어남을 확인하였다.

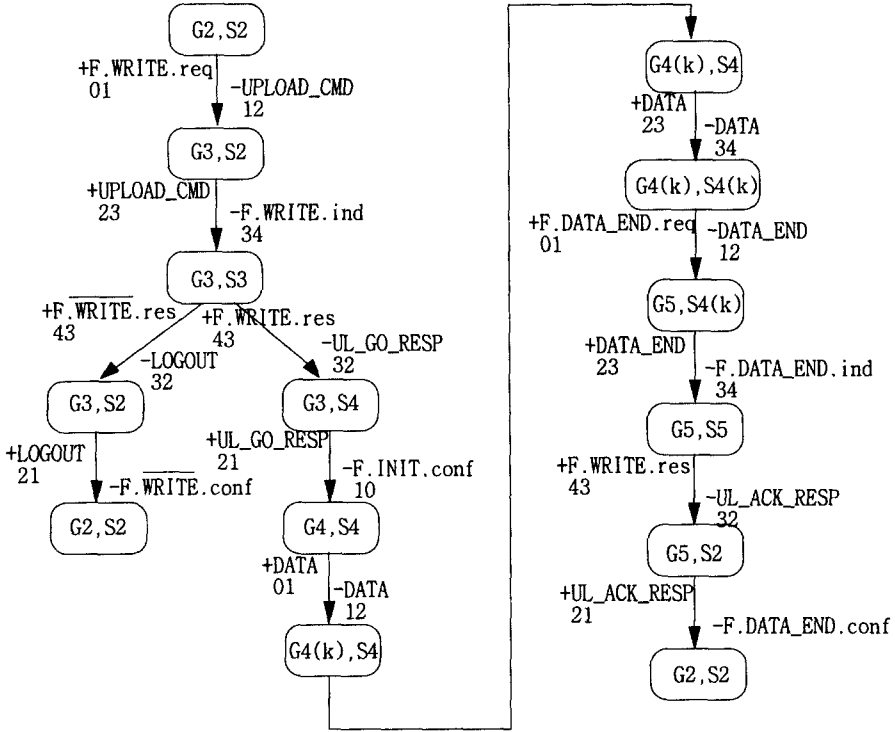


그림 9. 파일 업로드 상태의 도달성 나무.

5. 결 론

본 논문은 우리별 1, 2호 위성에 탑재된 통신 탑재물에 관한 연구로서, 먼저 프로토콜 공학의 생존주기에 맞추어서 탑재된 통신 프로토콜이 이론적으로 에러가 없음을 검증하였다. 위성의 링크층으로 사용되는 qAX.25 프로토콜은 지상의 AX.25 프로토콜을 기준으로 하고 있기 때문에 AX.25 프로토콜의 상태천이머신과 상위 계층인 FTLO 프로토콜의 상태천이머신을 상태 중심의 형식기술인 페트리 넷 기법에 통신에서 중요한 요소인 시간을 부착한 확장된 페트리 넷 기법으로 모델링하였다. 계속하여 통신 프로토콜이 실제로 실현될 수 있도록 확실하고 애매모호하지 않고 올바름이 있는지를 검증하기 위해서 페트리 넷의 상태 그래프를 도달성 나무 그래프로 만든 후, 초기의 상태에서부터 점차적으로 도달되는 상태를 추적하여 정확성, 복구성, 제한성, 생존성, 데드락 없음, 그리고 상태 모호성의 성질을 검증하였다. 검증 결과 이 프로토콜들은 이론적으로 에러가 없음을 알았다.

참 고 문 헌

- 노철우, 성단근 1991, 한국 정보과학회지, 18, 56
박찬왕, 성단근외 5명 1992, 텔레콤, 8
박찬왕, 유상근외 6명 1994, 전자공학회지, 21
이영로, 김정호외 2인 1993, 한국 통신학회지, 18, 169
Bochmann, G. V. & Sunshine, C. A. 1980, IEEE Trans. on Communications, COM-28, 624
Choi, Y. H. 1985, Computer magazine, 23, 46
Eric, L. S. 1988, ARRL Amateur Radio 7th., Computer Networking Conference, 158
Herald, P. & Jeff, W. 1990, ARRL Amateur Radio 9th, Computer Networking Conference, 203
Razouk, R. R. & Phelps, C. V. 1984, Protocol Specification, Testing and Verification, 561
Terry, F. 1984, ARRL Amateur Radio 3rd., Computer Networking Conference, 153