

VDL M2 데이터 링크 소프트웨어 설계 및 구현

김현경*, 양광직**, 김태식***, 배중원****

The Design and Implementation of VDL M2 Data Link Software

Hyoun-Kyoung Kim*, Kwang-Jik Yang**, Tae-Sik Kim**, Joong-Won Bae****

Abstract

The current air-to-ground communication between aircraft pilots and ground controllers is done by voice communication and text-based data communication. International Civil Aviation Organization (ICAO) suggested the digital data communication techniques to improve accuracy and effectiveness of the current air-to-ground communication. As one of them, VDL M2, a VHF band digital data communication link, is expected to substitute the voice communication and text-based ACARS data communication. In this paper, the software design and implementation of the VDL M2 system developed by Korea Aerospace Research Institute.

초 록

현재 항공기 조종사와 지상관제사간의 공대지 통신은 주로 음성통신과 텍스트 기반의 데이터 통신으로 이루어지고 있다. 국제민간항공기구(ICAO)에서 현 공대지 통신의 정확도와 효율성을 높이기 위한 기술로 디지털 데이터 통신 기술이 제안하였다. 그 중 하나인 VDL M2 시스템은 VHF 대역을 사용하는 디지털 데이터 통신 링크로, 기존의 음성통신과 텍스트 기반의 ACARS 데이터 통신을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 한국항공우주연구원에서 개발한 VDL M2 시스템을 구성하는 소프트웨어의 설계 및 구현결과에 대해 기술하였다.

키워드 : 초단파(VHF), 데이터 링크(datalink), 데이터링크 서비스 제공자(DSP), 통신관리장치(CMU)

1. 서 론

국제민간항공기구(ICAO)의 차세대 위성항행시스템(CNS/ATM) 전환 계획이 1991년에 결의됨에 따라 항공통신에 있어서는 공대지 데이터 링크 기술을 활용한 새로운 항공교통서비스가 사용

될 것이다. 현재 국내에서는 공대지 통신으로 음성통신 또는 ACARS 데이터 통신을 사용하고 있으며, 국내에서는 ACARS 기반 서비스로 PDC(Pre-Departure Clearance), D-ATIS(Digital Automatic Terminal Information System) 서비스가 인천국제공항, 김포공항을 비롯한 총 7개의

접수일(2007년5월21일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

* 항공사업단/kimhk@kari.re.kr

** 항공사업단/kjyang@kari.re.kr

*** 항공사업단/kts@kari.re.kr

**** 항공사업단/jwbae@kari.re.kr

공항에 설치되어 서비스되고 있다.

이에 항우연에서는 민간항공용 공대지 데이터 링크 기술로 활용도가 높을 것으로 기대되는 VDL M2(VHF Data Link Mode 2) 시스템을 개발하여 시험평가를 수행하고 있다. 본 논문에서는 개발된 VDL M2 시스템의 소프트웨어 설계 및 구현 내용에 대해 기술하였다.

2. VDL M2 소프트웨어 개요

본 논문에서 언급되는 VDL M2 소프트웨어는 항공기 CMU(Communication Management Unit), VDR(VHF Data Radio)의 MAC(Media Access Control), 지상 DSP(Datalink Service Provider), GS(Ground Station), VDR의 MAC에 장입된 소프트웨어 그룹을 포괄한다. 항공기 CMU는 링크 관리와 링크 통신 모두를 담당하는 통합 장비이며, 여기에는 DLS(Data Link Service), VME(VDL Management Entity) 소프트웨어가 설치되어 있다. VDR의 소프트웨어로는 MAC 관련 처리 소프트웨어가 설치되어 있으며, 그 외의 VDR 알고리즘은 물리계층에서 처리되는 펌웨어로 본 논문에서는 다루지 않는다. 지상은 항공기 시스템과는 달리 DSP와 GS이라는 별도의 시스템으로 구성되는데, GS에는 DLS 소프트웨어가 설치되고, DSP에는 VME 소프트웨어가 설치된다. DSP와 GS의 통합 기능은 항공기의 CMU 기능을 포함하지만 동일하지는 않다. 지상에서는 ACARS 또는 ATN(Aeronautical Telecommunication Network) 망에 접속하기 위한 프로토콜이 별도로 구성되어 있으며, 항공기가 하나의 지상 시스템과 연결되는 것과는 달리 하나의 지상국 또는 지상 시스템이 여러 항공기와 동시에 통신할 수 있다. 그림 1과 그림 2는 지상 DSP와 GS의 소프트웨어 구조를 보인 것이다.

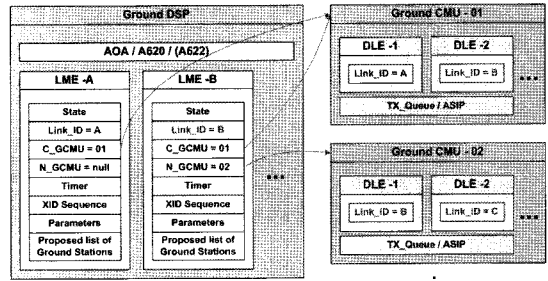


그림 1. DSP 소프트웨어 구조

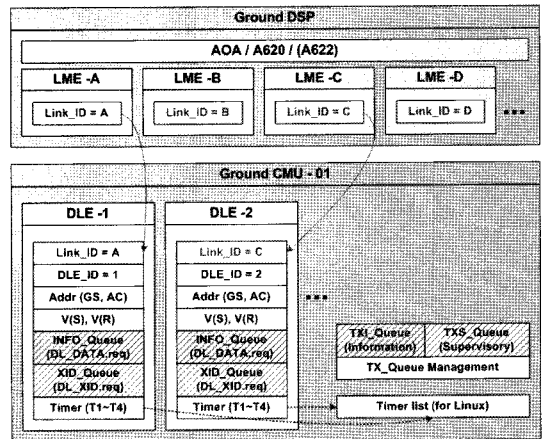


그림 2. GS 소프트웨어 구조

2.1 항공기 시스템 구성

항공기 시스템은 ACMU와 AVDR로 구성되는데, 소프트웨어 설계에 있어서 ACMU에는 VME 부계층과 DLS 부계층이 포함되며, AVDR에는 MAC 부계층이 포함된다. ACMU는 시작과 동시에 두 개의 분리된 VME와 DLS 소프트웨어가 실행된다. 두 소프트웨어는 하나의 컴퓨터에서 동작하지만 마치 하드웨어적으로 분리된 것처럼 내부 소켓을 이용한 가상 이더넷으로 통신한다. VDL M2 서비스 지역에서 항공기 VME는 주파수를 CSC(Common Signaling Channel)로 설정하여 지상국에서 전송하는 GSIF(Ground Station Information Frame)를 수신하고 PECT(Peer Entity Contact Table)을 생성한다. PECT에는 지상국에 대한 정보가 저장되며, 정보로는 ICAO

주소, 지상 시스템 정보, 신호품질, 공항정보 등이 포함된다. 최초 연결시 PECT에 가장 먼저 수신된 지상국이 연결대상이 된다. 따라서 이 지상국으로 링크 요청을 하여 링크 개설을 시도한다. 지상국에서는 이에 대한 응답 메시지를 보내는데, 링크 설립과 관련한 대부분의 파라미터는 응답 메시지에 포함된다. VME 계층에서 처리되는 정보에 있어서 항공기에서 송신하는 프레임은 많은 정보를 가지고 있지 않으므로 지상국에서 설정하는 값의 수용 여부만을 판단하게 된다. VDL M2 용으로 119~137MHz의 주파수를 제안하고 있지만, 현재로서는 VDL M2 시스템용으로 CSC 채널인 136.975Mz만 사용되고 있다.

VME 소프트웨어에서는 LME라는 개체를 생성하여 링크를 관리하는데, 절차에 따라 링크가 개설되면 항공기 LME는 해당 링크에 대해 DLS에 해당 링크에 대한 개체로 DLE를 생성하여 점대점 통신이 이루어지도록 한다. 링크가 생성되지 않은 단계에서는 점대점 통신이 아닌 Broadcast 통신만이 가능하데, Broadcast 통신에서도 수신자를 지정하여 특정 지상 장비만으로도 데이터 전송이 가능하다. 항공기는 링크 핸드오프시에만 두 개의 DLE를 가질 수 있고, 그 외의 경우에는 하나의 지상국과의 통신만이 가능하므로 하나의 DLE만 가진다.

개설된 공대지 링크를 통해 항공기는 LME를 통해 DL_DATA.req 프리미티브에 ATS 메시지를 실어 보낼 수 있다. 이 프리미티브의 ATS 메시지는 AVLC 프레임으로 변환된 후, 다시 UNITDATA.req 프리미티브를 통해 AVDR로 전송되고, 최종적으로 VHF 통신을 통해 지상으로 전송되는 과정을 거친다. 이 처럼, 각 계층간에는 프리미티브라는 서비스 매체가 이용되며, 각 프리미티브를 거치면서 계층별로 처리되는 정보가 헤더로 삽입된다.

사용자 데이터 이외에도 링크상의 제어를 위한 여러 프레임을 생성할 수 있다. 이와 같이 생성된 프레임은 INFO, RR, SREJ, FRMR 등으로 구분되는데, 모든 프레임은 송신 큐에 저장되어 순서대로 처리된다.

큐에 저장된 후 일정시간 데이터 전송이 이루

어지지 않으면 해당 프레임은 재전송 알고리즘에 의해 재전송 요청되며, 일정 재전송 횟수를 초과하면 해당 링크를 더 이상 사용할 수 없음을 인지하여 항공기 LME는 핸드오프를 시도한다. 핸드오프 동안에 LME는 두 개의 DLE를 관장하게 되는데 각각은 이전의 지상국과 새롭게 연결을 시도하는 지상국으로 구성된다. 핸드오프가 완료된 후에 일정 시간동안 두 개의 링크를 유지하며, 일정시간이 지나고 나면 이전의 링크는 삭제된다.

항공기 LME가 시도하는 핸드오프에는 항공기 개시 핸드오프와 항공기 요청-지상 개시 핸드오프의 두 가지가 있는데, 항공기 개시 핸드오프는 항공기에서 링크를 변경할 것을 요청하는 것으로, 지상국에서는 해당 핸드오프를 수용하기로 결정하면 응답을 보낸다. 이 과정에서도 지상국의 응답 메시지에 링크 설립과 관련한 대부분의 정보가 포함되어 있으므로, 항공기는 이를 수용할 수 없는 경우에 거절할 수 있다. 항공기 요청-지상 개시 핸드오프는 항공기가 지상국에서 핸드오프를 개시할 것을 요청하는 것으로 지상국에서 핸드오프를 개시하고 항공기가 응답하는 과정을 수행한다. 여기에서는 지상국의 핸드오프 요청시 링크 설립 파라미터가 포함된다.

2.2 지상 시스템 구성

지상 시스템은 링크 관리를 총괄하는 서비스 제공자에 해당되는 지상 DSP와 중계기에 해당하는 GS들로 구성된다. 두 시스템은 독립적으로 동작하며, 두 시스템간 인터페이스는 이더넷 통신으로 이루어진다. 지상 DSP는 링크의 설립, 데이터 전송, 링크의 삭제에 이르는 모든 링크 관리와 데이터 전송을 총괄하며 지상국은 DSP에 의해 설립된 링크를 바탕으로 데이터를 송수신하는 기능을 담당한다. 현재 VDL M2서비스 제공자인 ARINC와 SITA가 전 세계를 관할하고 있으며, 점차적으로 국가별 DSP가 구축되는 추세이다.

DSP는 VME 소프트웨어가 구동되며 이는 각 지상국에 파라미터를 설정하고 링크를 통해 데이터를 전송할 것을 요청한다. GS에는 DLS 소프트

웨어가 구동되며 이는 각 링크에 대한 DLE를 생성하여 항공기와의 통신을 관할한다. 각 GS는 주기적으로 GSIF를 송신하여 항공기가 링크 설립을 시도할 수 있게 한다. GSIF 프레임은 CSC 채널을 통해 전송되는데, 여기에는 지상국에서 설정하고 있는 기본적인 파라미터 정보가 포함되어 있다. 링크 개설 절차는 항공기 시스템에서 설명한 바와 같다. 절차에 따라 링크가 개설되면 지상국 LME는 해당 링크에 대한 DLE를 생성하여 해당 링크를 통한 점대점 통신이 이루어지도록 한다. 지상국에서는 연결하고 있는 항공기 수 만큼의 DLE를 가지며, connectionless 통신을 제공하는 LLC_1 기능은 DLS에 포함되어 있다.

개설된 링크를 이용한 데이터 전송 개념은 항공기와 지상국이 동일하다. 항공기와 지상국의 차이점은 항공기에서 전송하는 데이터 및 항공기에 대한 정보는 각 GS로부터 DSP에 전송되어 DSP에서 일괄적으로 관리한다는 것이다. 따라서 데이터 전송 및 핸드오프와 관련하여서도 모든 제어와 데이터는 DSP의 명령에 의해 GS에서 전송되어야 한다.

향후 지상 장비간 통신은 ATN이라는 네트워크를 통해 이루어질 계획에 있지만, 현재로서는 ACARS 망을 통해 통신이 이루어지고 있다. 따라서 VDL M2 시스템을 현재의 ACARS 망에 연결하기 위해서는 AOA(ACARS Over AVLC) 라는 인터페이스를 거쳐야 하며, 본 시스템에서는 DSP에 AOA 모듈을 포함하여 구성하였다.

3. 설계 및 구현

3.1 소프트웨어 설계

소프트웨어 설계에 있어서는 기능 흐름도, 각 기능별 순서도, 상태 천이도를 설계하고, 각 기능 및 계층간 프리미티브를 정의하였다. 최종적으로 설계된 기능 흐름도는 그림 3과 같다.

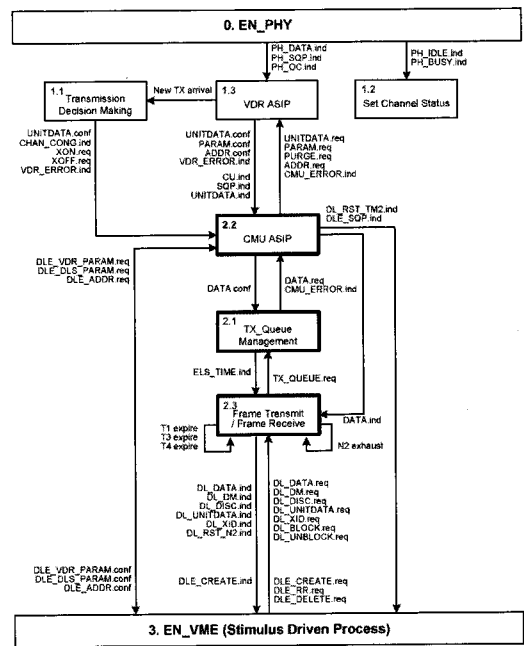


그림 3. 기능 흐름도

소프트웨어 설계에 있어서 개체는 0번이 물리 계층, 1번이 MAC 부계층, 2번이 DLS 부계층, 3번이 VME 개체로 설정되었으며, 각 개체에 따른 주요 기능을 기능 블록으로 생성하였다. 기능 블록내에는 여러 함수가 포함되어 있으며, 함수별 순서도는 상세설계에서 다룬다. 기능 블록간 데이터의 흐름은 프리미티브로 정의되며, ICAO Technical Manual Doc9776에 명시된 프리미티브를 기준으로 하여 수정 보완되었다. 소프트웨어 개발에 있어서 DLS와 VME가 주된 영역인데, 기능 흐름도에서 VME에 대한 기능 블록은 생략되어 있다. 이는 VME의 주요 기능은 외부에서 발생하는 입력(또는 이벤트)에 의해 동작이 취해지는 event-driven 방식을 사용하기 때문이다. DLS는 이와 달리 자체적인 타이머와 순환에 의해 지속적으로 관리되는 방식을 사용하고 있다.

3.1.1 MAC 부계층 설계

MAC 부계층은 VDR에 포함되어 있으며, p-persistence CSMA 알고리즘을 통해 데이터를

전송하는 역할을 수행한다. 또한, DLS 부계층과 물리 계층을 연결하는 역할을 수행하는데, 본 소프트웨어 설계에 있어서는 DLS 연결 기능과 CSMA 알고리즘만을 포함하였고, 물리 계층 연결 부분이나 드라이버의 관리 기능은 하드웨어적인 성능으로 분류하였다. MAC 소프트웨어는 항공기와 지상이 동일하다. MAC 부계층의 주요 알고리즘은 송신 결정(Transmission Decision Making)이다. MAC에는 전송할 프레임을 저장하는 버퍼가 있는데, 버퍼에 프레임이 수신된 후 버퍼가 비워질 때까지 해당 알고리즘을 반복해서 수행한다. VDR과 CMU(또는 GS)간 통신은 MAC 부계층과 DLS 부계층간 인터페이스로 이루어지는데, 이는 ARINC 750 문서에 정의된 ASIP(AVLC Simple Interface Protocol)이라고 하는 프로토콜을 기반으로 하여 본 시스템에 맞게 수정된 인터페이스로 구성되었다. 일반적인 데이터 송수신은 UNITDATA.req를 통해 이루어지며, 이외에도 MAC과 DLS간 흐름 제어 및 파라미터 제어를 위해 여러 프리미티브가 사용된다. MAC 버퍼는 최대 크기(16Kbits)의 프레임을 최대 7개 까지 저장할 수 있다. 버퍼가 꽉 찬 상태에서 프레임이 수신되면 VDR_ERROR.ind 프리미티브를 보내어 더 이상 프레임을 수신할 수 없고, 방금 전 보낸 프레임이 버퍼에 저장되지 않았음을 알린다. 버퍼가 꽉 채워지기 전에 상위_임계치를 두어 임계치를 초과하면 XOFF.ind 프리미티브를 전송하여 프레임의 송신 중지를 요청한다. 또한, XOFF.ind 상태 또는 VDR_ERROR.ind 상태에서 버퍼가 하위_임계치 이하로 비워지면 XON.ind 프리미티브를 보내어 전송 개시를 요청한다.

MAC 부계층은 그림 3의 기능 흐름도에서 보여지듯이 3개의 블록으로 구성된다. 각각은 Transmission Decision Making, Set Channel Status, Process VDR Primitive 블록이다. Transmission Decision Making 블록에서는 버퍼에 저장된 프레임은 p-persistence CSMA 알고리즘을 통해 송신되며, 일정 시간(TM2)을 초과하여 버퍼에 저장된 프레임은 전송될 수 없고, 이 경우 CHAN_CONG.ind 을 보내어 채널이 사용 불가능함을 알린다. p-persistence CSMA 알고리즘과

p-persistence CSMA 알고리즘은 TM2에 의해 프레임이 전송되는 과정은 그림 4의 순서도에 보였다. Set Channel Status 블록에서는 물리 계층으로부터 수신되는 채널의 상태정보 프리미티브를 수신하여 채널 상태 변수 값을 설정한다. Process VDR Primitives에서는 ASIP 인터페이스에 대한 모든 처리를 담당한다.

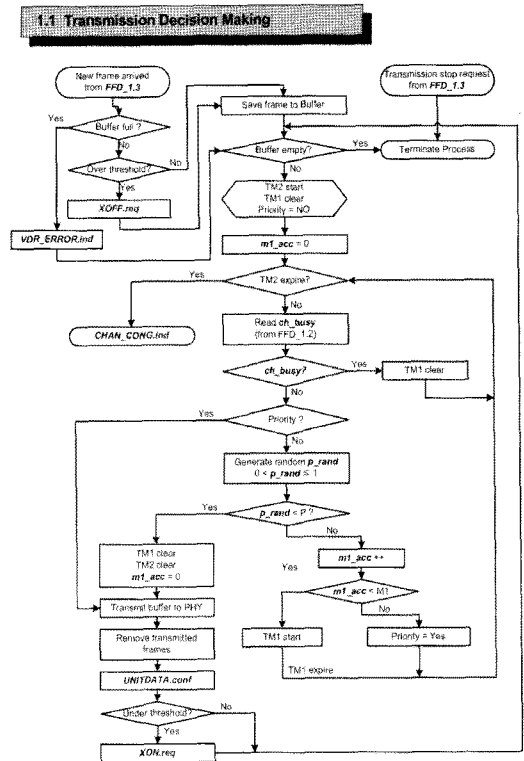


그림 4. Transmission Decision Making

3.1.2 DLS 부계층 설계

DLS 부계층은 ACMU 또는 GS에 포함된다. DLS 부계층은 비트기반의 공대지 통신을 제공하는데, 여기에는 연결 기반의 점대점 통신과 비연결 통신이 모두 포함된다. 채널 접근 및 점유는 MAC 부계층이 제공하기 때문에, DLS 계층에서는 해당 링크상에서의 통신만을 고려하면 된다. 즉, DLS 부계층은 MAC 부계층으로부터 전달받은 비트 단위의 프레임들을 재조합하고, 중복된

프레임들의 체크 등을 수행한다. MAC 부계층과 마찬가지로 DLS 부계층에도 재전송 알고리즘이 포함되어 있다. DLS 부계층에서는 채널 접근 성공 여부에 상관없이 일단 전송해야 하는 프레임을 MAC 부계층으로 보내면 전송이 시작된다고 판단하므로, 송신한 프레임에 대한 응답이 없는 경우 재전송을 수행한다. DLS 부계층은 TX_Queue Management, CMU ASIP, Frame Transmit / Frame Receive의 세 블록으로 구성된다. 또한 DLS 부계층은 기능에 있어서 점대점 통신을 담당하는 DLE 제어부와 XID 프레임 등의 Broadcast 통신을 담당하는 LLC_1 제어부, 전송 프레임의 큐를 관리하는 TX_Queue 제어부로 구성된다. DLE 제어부에는 링크별 DLE의 생성 및 삭제, 통신 데이터 관리, 전송순서번호의 관리, 재전송 관리등을 담당한다. LLC_1 제어부는 XID 프레임의 재전송을 관리한다. TX_Queue 제어부는 DLE 제어부와 LLC_1 제어부에서 전송하는 프레임에 대한 우선순위를 판별하여 전송한다. 우선순위와 관련하여 TX_Queue 제어부에는 두 개의 전송 큐가 존재하는데, 하나는 Information 큐(TX_Queue)이고 다른 하나는 Supervisory 큐(TXS_Queue)이다. TX_Queue는 INFO 프레임과 UI 프레임에 대한 포인터를 저장한다. INFO 프레임과 UI 프레임에 포함되는 사용자 데이터는 TX_Queue에 들어있지 않고, 포인터가 가리키는 각 DLE의 정보 큐에 저장되어 있다. INFO 프레임과 UI 프레임을 제외한 모든 프레임은 Supervisory 프레임으로 간주되며, TXS_Queue는 이러한 모든 Supervisory 프레임을 저장한다. Supervisory 프레임의 우선순위가 Information 프레임보다 높으며, TXS_Queue의 모든 프레임이 전송될 때까지 TX_Queue의 프레임은 전송되지 못한다. 또한, 전송 큐에 전송할 프레임이 남아 있더라도 MAC 부계층으로부터 비퍼 오버플로우 메시지(XOFF.ind)를 받으면, TX_Queue 제어부에서는 프레임의 전송을 중단하여야 한다.

CMU ASIP 블록은 MAC 부계층과의 인터페이스를 처리하는 블록이다. MAC 부계층에서는 데이터의 수신을 알리는 UNITDATA.ind 프리미

티브와 상태 정보를 알리거나, 흐름을 제어하기 위한 여러 가지 프리미티브를 송신한다. MAC 부계층의 주요 기능인 채널 접근 시도가 실패하면 CHAN_CONG.ind 프리미티브를 DLS 부계층으로 보내는데, 이 프리미티브를 받으면 CMU ASIP 블록에서는 DL_RST_TM2.ind 프리미티브를 VME에 전달하도록 한다. CU.ind 프리미티브를 수신하면 채널 점유율 값을 저장하여 DLS에서 T1 또는 T3 타이머 값을 계산하는데 이용될 수 있도록 한다. UNITDATA.ind 프리미티브가 수신되면 AVLC 프레임을 추출하여 해당 DLE에 전달하고, DLE는 이를 처리하여 DL_DATA.ind 프리미티브를 VME에 전송한다. UNITDATA.ind 과 함께 신호의 수신감도를 알리는 SQP.ind 프리미티브가 수신되는데, 이 값은 DL_DATA.ind 과 함께 전송된다.

DLS에서 가장 중요한 기능은 프레임의 송수신 처리이다. 이 기능은 Frame Transmit / Frame Receive 블록에서 담당한다. 수신되는 각 프레임의 종류에 따라 구분된 함수를 사용하며, 현재 DLE의 모드에 따라 처리과정이 다르다. 그 예로, <그림 5>에 INFO 프레임의 수신에 대한 처리 순서도를 보였다. ABM 모드에서 INFO 프레임을 수신하면 RR 또는 SREJ 프레임으로 응답하고, SREJ 프레임을 받으면 상대방에서 요구하는 INFO 프레임을 전송한다. XID 프레임에 대해서는 타이머 설정과 중복 또는 응답 프레임에 대한 전송큐의 삭제 과정만 수행하고, 나머지는 VME 부계층에서 처리된다. FRMR 프레임을 받으면 리스트 상에 보관하고 있는 모든 데이터를 삭제하고 UA 응답을 보내 링크를 리셋한다.

2.3 Frame Transmit / Frame Receive (7/8)

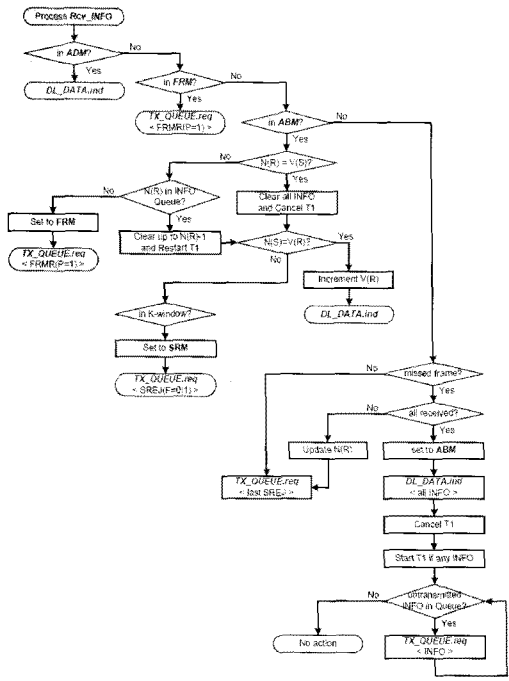


그림 5. Frame Transmit / Frame Receive

3.1.3 VME 부계층 설계

VME 부계층은 링크 설립과 핸드오프 등의 링크에 대한 전반적인 관리, 사용자 데이터를 GS로 전송하는 기능을 담당한다. VDL M2에 있어서 링크 관리와 관련된 대부분의 업무는 지상에서 이루어지기 때문에 지상 VME가 항공기 VME보다 훨씬 복잡한 처리과정을 갖는다. 반면, 우선순위에 있어서는 항공기 데이터 전송이 높은 우선순위를 갖는다. 모든 항공기와 지상국은 24 비트 ICAO 주소값을 가지며, 이와 함께 최 상위 비트로 3비트의 주소 종류를 표시한다. 항공기와 지상국은 3비트의 주소 종류가 서로 다른데, 지상국이 높은 값을, 항공기가 낮은 값을 갖기 때문에 항공기의 총 주소값이 지상국보다 낮다. 따라서 항공기의 명령이 높은 우선순위를 갖는다. VME 부계층에서의 우선순위는 전송 우선순위가 아니라, 각 장비간 명령이 충돌이 발생했을 때의

우선순위를 의미하는 것으로, 하위 계층이나 전송 매체상에서 지연이 발생하여 동일한 명령(예를 들어 핸드오프 개시 명령)이 동시에 항공기와 지상에 도착하였을 때, 항공기와 지상국 모두 핸드오프 요청상태에 있지만, 지상국은 보다 높은 우선순위의 명령을 처리하기 위해 자신의 핸드오프 요청상태를 포기하고 항공기의 핸드오프 개시 명령에 따라야 한다. 이와 같이 VME 부계층 처리에 있어서 항공기와 지상국의 알고리즘이 매우 다르므로, 각각에 대한 처리 알고리즘을 구성하였다. 그림 6과 그림 7은 항공기와 지상국이 핸드오프를 처리하는 과정을 보여주는 것이다. 그림 6은 항공기가 핸드오프를 개시하는 과정이고, 그림 7은 지상국에서 해당 핸드오프 요청에 응답하는 과정이다.

VME-AC-05. XID_CMD_HO(P=1)

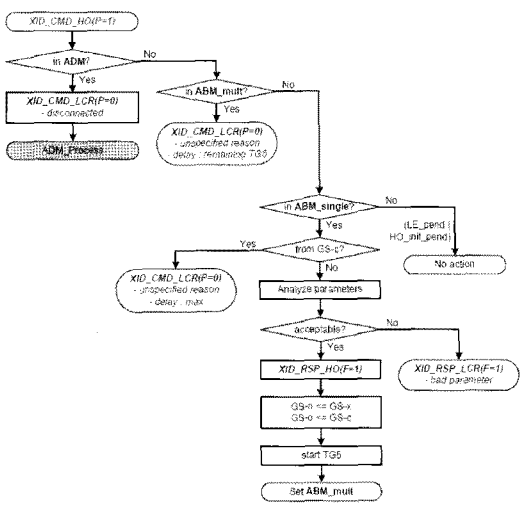


그림 6. VME-AS - XID_CMD_HO(P=1)

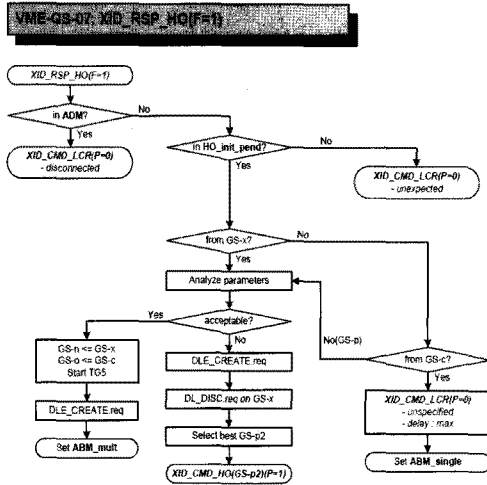


그림 7. VME-GS - XID_RSP_HO(F=1)

3.1.4 AOA 적용 및 인터페이스

앞서 설명한 바와 같이, VDL M2는 ATN 망에서 구동되는 시스템이며, 현재의 ACARS 망에서 연결하여 사용하기 위해서는 AOA 인터페이스를 이용하여야 한다. 본 시스템의 운용성을 검증하기 위해 ATS 메시지에 대한 응용시스템을 개발하였는데, 이를 위해서는 AOA 인터페이스가 요구되므로, 호주 ADS사로부터 AOA 라이브러리를 구매하여 VME 시스템에 장입하였다. 향후연에서는 AOA 라이브러리와 운용 시스템간 인터페이스를 위해 KARI Wrapper 프로토콜을 설계하였다. 이는 지상/항공기 탑재 운용프로그램에서 생성된 데이터를 AOA 모듈 데이터 형식으로 변환 전달하는 기능과 AOA 모듈을 주기적으로 감시하여 TCP/IP 통신을 이용하여 AOA 수신 데이터를 운용시스템으로 전송하는 기능을 수행한다. 이에 따라 KARI Wrapper는 AOA 모듈을 감시 처리 기능과 지상/항공기 탑재 운용 프로그램과의 데이터 통신을 처리 기능으로 구분하였다. 현재 ATS 메시지는 CPDLC, ADS-C, AFN 기능만이 포함되어 있는데, 향후 D-ATIS, PDC 등의 모든 ATS 메시지가 처리될 수 있도록 개발중에 있다.

3.2 소프트웨어 구현

MAC 부계층을 제외한 모든 소프트웨어는 Linux 환경에서 C 프로그램으로 구현되었다. Linux 커널은 2.6이 사용되었고, 컴파일러로는 GCC 4.0을 사용하였다.

VME는 링크 관리를 위해 LME를 생성하는데, LME는 State, Link ID, DLE ID, Timer 등의 정보를 갖는 구조체 형태를 갖는다. 링크의 생성 및 삭제에 유연하게 대처할 수 있도록 각 LME는 Dynamic double linked list로 관리된다. 모든 링크 관리는 Link ID를 기준으로 이루어진다. VME는 TG1에서 TG5까지 총 다섯 가지 타이머를 갖는데, 이 중 항공기에서는 TG1, TG2, TG5만을 갖는다. TG1은 한 주파수에서 VDL M2 링크를 감지하는데 머무는 시간으로, 본 연구에서는 CSC 채널만을 사용하므로, 실제로 TG1은 사용되지 않았다. 타이머는 해당 Link ID, 타이머 종류, 타임아웃 값을 갖는 구조체 형태로, 타임아웃이 낮은 순서대로 정렬되는 double linked list로 구현되었다. 타이머의 설정은 리스트의 첫 번째 타임아웃 값으로 설정되고, 타임아웃이 발생하면 지정된 Link ID에 대해 해당 처리를 수행하고 리스트에서 해당 타이머를 삭제하고, 다음 타이머로 타임아웃 값이 설정된다.

VME에서는 링크가 설립되면 DLS에 DLE를 생성할 것을 요청하는 메시지를 보내고, Link ID와 항공기 주소값을 전송한다. DLS에서는 DLE 리스트를 생성하여 관리하는데, DLE의 자료구조는 다음과 같다.

- Link ID : 해당 링크 ID
- DLE ID : 해당 DLE ID
- S.Addr : 송신측 주소
- D.Addr : 수신측 주소
- DLE Mode : 해당 DLE의 상태
- V(S) : 다음에 송신할 프레임 번호
- V(R) : 다음에 수신할 프레임 번호
- Block Status : 링크 사용 상태
- Cnt_N2 : 재전송 카운터
- FRMR_Cnt_N2 : FRMR 프레임에 대한 재전송 카운터

- Cnt_K : ACK가 확인되기 전 전송 가능한 INFO 프레임의 카운터
- T1, T2, T3, T4 value : 해당 DLE의 타이머 T1, T2, T3, T4 값
- XID Queue_Addr : XID_Queue를 가리키는 포인터
- INFO Queue_Addr : INFO_Queue를 가리키는 포인터
- SREJ Queue_Addr : SREJ_Queue를 가리키는 포인터

기능상에서 볼 때, 점대점 통신을 담당하는 DLE와 broadcast 통신을 담당하는 LLC_1이 구분되지만, 구현상에서는 각 broadcast 통신에 대해 가상의 DLE를 구성하여 처리하도록 하였다. 따라서 위의 자료구조처럼 각 DLE마다 세 개의 큐를 갖는다. 여기서 INFO 큐는 DLE가 block 상태이거나 SRM 상태일 때, T1 타이머 만료전 응답이 필요한 송신 프레임에 대한 응답을 받지 못했을 경우, TX_Queue로 전송하지 않고 큐에 저장해야 하기 때문이다. XID 큐는 LLC_1 기능으로 T3 타이머 만료전 응답이 필요한 송신 프레임을 저장하기 위한 용도로 사용된다. SREJ 프레임은 수신된 프레임에 대해 순서번호가 맞지 않는 경우 손실된 데이터가 수신될 때까지 기다리기 위한 큐이다.

LME로부터 데이터 전송 요청을 받으면 DLE 제어부는 해당 DLE의 INFO_Queue 데이터를 저장하고, TX_Queue 제어부에 이에 대한 정보를 전송한다. 데이터 전송 요청은 재전송이 필요한 프레임이므로, T1 타이머 리스트를 갱신하여야 한다. 원격으로부터 응답을 받으면 해당 데이터를 각 DLE의 INFO 큐에서 삭제하고, T1 타이머 리스트를 갱신한다.

T1 또는 T3 타임아웃이 발생하면 타이머 리스트를 검색하여, 각 타이머 항목의 남은 타임아웃 값이 Timeout Threshold(타임아웃 값보다 일정 값 이상 큰 값으로 계산됨) 이하이면 해당되는 모든 프레임에 대한 재전송을 요청한다. 재전송 요청 과정은 해당 DLE에 있는 Cnt_N2 값을 증가시키는 것으로, 전송 큐에 저장된 데이터에는 영향이 없다. 전송 큐에서 VDR로 데이터가 전송

되기 직전에 AVLC 프레임이 생성되므로, 재전송과 관련한 카운터는 이 때 설정된다. 그림 8과 그림 9는 DLS 부계층의 구현 개념도를 보인 것으로, 그림 8은 VME 부계층으로부터 데이터를 수신하였을 때의 처리 과정을 보인 것이고, 그림 9는 MAC 부계층으로부터 데이터를 수신하였을 때의 처리과정을 보인것이다.

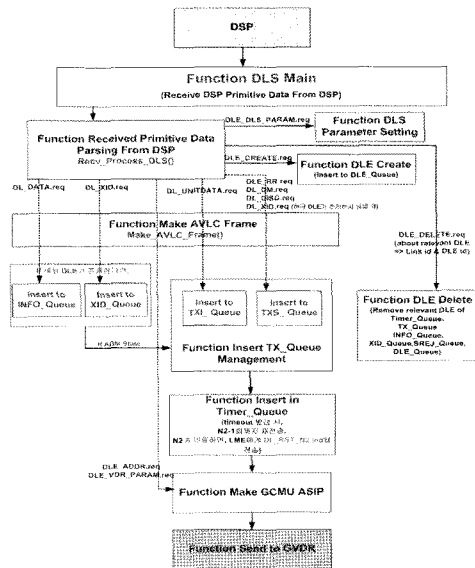


그림 8. Function Flow Diagram Send Received Data From DSP to GVDR

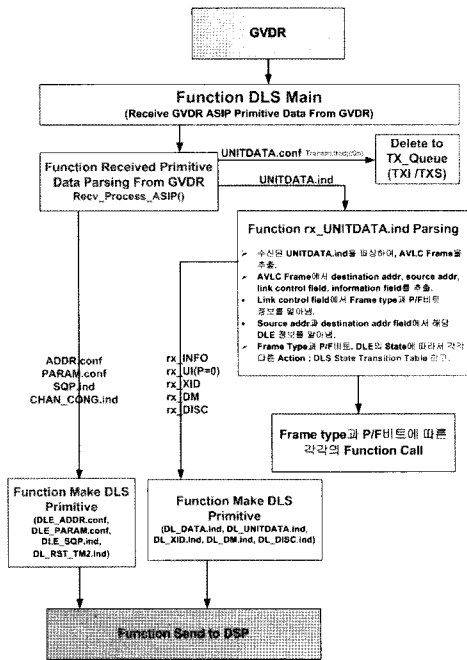


그림 8. Function Flow Diagram Send Receive Data From GVDR to DSP

4. 결 론

차세대 항공 데이터 통신으로 추진중인 VDL M2 통신 시스템 구축에 필요한 링크 계층에 대한 소프트웨어 설계와 구현을 완료하였다. 구현된 본 장비에 대해 프로토콜 시험을 완료하였으며 현재 통합 시험중에 있다. 프로토콜 시험에서는 ARINC와 SITA 등에서 VDL M2 시험장비로 사용되고 있는 호주 ADS사의 MVDL 시스템을 이용하였으며, 시험결과 개발된 소프트웨어의 기능이 규격을 만족함을 확인하였다. 본 연구 개발을 통해 획득된 소프트웨어 및 개발 노하우가 향후 국내의 VDL M2 시스템 구축에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 “차세대 항공 데이터통

신 시스템(VHF Data Link) 개발” 연구개발 사업의 연구비 지원(과제번호 : 05교통핵심-A03)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 배중원, 김현경, 김인규, 김태식, “VDL 모드 2 데이터링크 시스템 설계 및 구현” 한국항공우주연구원 항공우주기술지 제7권 제1호, 2008.
2. 김현경, 김태식, 김동민, 신영숙, “CPDLC 서비스를 제공하는 VDL M2 지상장비 프로토콜 설계”, 한국항공우주학회 추계 학술발표, 2007.
3. ICAO, "Manual on VHF digital link(VDL) mode 2", Doc 9776, 2002.
4. ARINC, "VHF data radio", ARINC 750-4, 2004.
5. RTCA, "Signal-in-space minimum aviation system performance standards for advanced VHF digital data communications including compatibility with digital voice techniques", DO-224A, 2000.
6. ISO, "Information technology - telecommunications and information exchange between systems - High level data link control(HDLC) procedures, ISO/IEC13239, 2002.
7. RTCA, "Minimum operational performance standards for aircraft VDL mode 2 physical, link, and network layer", DO-281, 2002.