

항공이동통신 시스템에서 VDL을 위한 MAC 프로토콜 모델링 및 성능 분석

Modeling & Performance Analysis of the MAC Protocol for VDL in the Aeronautical Mobile Communication System

김용중*, 박효달**

Yong-Joong Kim*, Hyo-Dal Park**

요 약

본 논문은 항공 무선 데이터 통신의 STDMA MAC 프로토콜 방식을 분석하여 모델링하고, 시뮬레이션을 통하여 성능 검증을 수행하였다. 현재 VDL Mode 4에서 사용하는 STDMA 프로토콜은 하나의 프레임을 여러 개의 슬롯으로 시분할 하여 사용하는 TDMA 시스템 특성을 갖는다. 모델링한 STDMA 프로토콜의 데이터 채널 성능 분석 결과 처리효율 면에서는 전송확률 0.045, 0.2, 0.3에서 모두 0.7에 가까운 채널 효율을 나타냈으며, 그때의 지연시간은 각각 2.32434sec, 2.0293sec, 2.12128sec로 일정한 지연시간을 나타내어 안정적인 성능을 나타내는 것으로 분석되었다. 따라서 STDMA 프로토콜을 앞으로의 CNS/ATM 기반기술로 점-대-점 통신과 데이터/위치 방송에 적용함으로써 항공교통량 증가에 따른 국내 통신수요와 감시체제 개선요구에 효과적으로 대처할 수 있을 것이라 기대된다.

Abstract

This paper analysis the STDMA protocol in aviation wireless data communications and carry out the performance analysis with simulation. The STDMA protocol that is currently being used in VDL Mode-4 has TDMA system characteristics, which provides time-division into several slots per one frame. The results of modeled STDMA protocol's data channel analysis show approximate 0.7 channel throughput at the transmission probabilities 0.045, 0.2, and 0.3 in the aspects of channel throughput. The delay time are 2.32434sec, 2.0293sec, and 2.12128sec respectively. These results shows the good stability in spite of variable transmission probabilities. Consequently, it is expected that STDMA protocol would be used properly for domestic communication demands and supervision system improvement by means of applying this to point-to-point communication and data/location broadcasting as a fundamental technology in CNS/ATM.

Key words : STDMA, VDL Mode 4, Aeronautical Mobile Communication(AMC), MAC Protocol, Throughput Analysis

* 한림대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Hallym University)

** 인하대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, InHa University)

· 교신저자 (Corresponding Author) : 김용중

· 투고일자 : 2009년 4월 1일

· 심사(수정)일자 : 2009년 4월 2일 (수정일자 : 2009년 5월 6일)

· 게재일자 : 2009년 6월 30일

I. 서 론

최근 항공교통수요 급격한 증가에 따른[1]항공기 운항의 안전 향상, 지연감소, 수송 용량증가, 운용비용 절감 등을 위한 위성항행시스템(CNS/ATM : Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)이 국제민간항공기구를 중심으로 세계 각국에서 급속히 추진되어 지고 있다. 위성항행시스템은 21세기 새로운 패러다임으로 제시된 정보화, 디지털화, Global화에 능동적으로 대처하고 증가하는 항공교통수요를 충족시키기 위해 위성기술과 정보통신기술을 항공통신(Communication), 항행(Navigation), 감시(Surveillance)에 적용하는 차세대 항법시스템이다 [2],[3],[4],[5].

이중 통신 분야에 해당하는 항공통신은 항공기와 지상시설 간, 지상시설과 지상시설 간, 항공기와 항공기간의 정보 전달과 교환을 의미하며, 항공이동통신용 VHF 주파수(117.975[MHz] - 137[MHz])는 대역폭 25[KHz]를 갖는 760개 채널이 운용 중에 있지만 항공통신의 수요는 항공교통수요 증가에 따라 계속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이에 따른 효율적인 주파수 이용 방안이 요구되어 지고 있다 [6],[7],[8],[9],[10].

진행되는 연구 분야중 하나가 STDMA(Self-Organized Time Division Multiple Access) 프로토콜 방식을 사용하는 VDL(VHF Data Link) Mode 4를 적용하여 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance - Broadcast)를 구축하는 것이다[11],[12],[13],[14]. VDL Mode 4는 항공기 및 공항 이동체 등의 이동국간, 이동국과 고정 지상국 간의 디지털 통신을 제공한다. 광역 서비스인 ADS-B와 점-대-점 통신 이용이 가능하며, 표준 대역폭 25[KHz]를 갖는 VHF 통신 채널로 디지털 데이터를 전송하며, 통신채널을 타임 슬롯으로 분할하여 이용한다[14],[15],[16].

본 논문에서는 STDMA 프로토콜의 동작 방식을 분석하여 전송 절차를 모델링하였고 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 VDL Mode 4를 위한 STDMA 시스템을 분석하였다. 3장에서는 STDMA 방식에 대하여 채널 모델링과 시뮬레이션 환경을 구

현하였으며, 4장에서는 각 파라미터를 변화시키며 시뮬레이션을 통해 검증, 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 과제에 대해 논의한다.

II. STDMA 시스템

2-1 STDMA 시스템 개요

STDMA 데이터 링크는 국제민간항공기구(ICAO : International Civil Aviation Organization) 항공통신패널(AMCP : Aeronautical Mobile Communication Panel)에서 VDL Mode 4로 명명하였다. VDL Mode 4에서의 VDL은 ICAO에서 지정한 VHF Data Link의 약어로서, 원래 모든 종류의 항공, 해상 그리고 육상 이동통신에 응용할 수 있기 위한 광의의 디지털 통신 시스템으로서 STDMA로 알려진 Self-organizing Time Division Multiple Access 기술을 기반으로 한다[11], [13],[14].

VDL Mode 4는 데이터 링크를 사용하는 지상국과 이동국(Mobiles)으로 구성되며, 이동국은 지상과 항공에서의 사용을 위해 항공기 및 공항주변에 운영되는 이동체에 설치된다. 이동국과 지상국은 ADS-B와 같은 데이터를 방송(Broadcast)할 수 있다[16]. VDL Mode 4를 이용한 지상국과 이동국 간, 이동국 간의 통신 및 ADS-B 운영구조는 아래 그림 1과 같다.

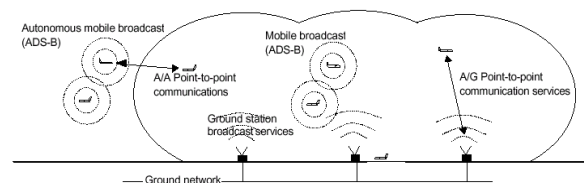


그림 1. VDL Mode 4 통신과 ADS-B 운영구조
Fig. 1. The operating structure of VDL Mode 4 communication and ADS-B.

Broadcast 데이터는 지상 및 이동국의 전송 스테이션 포착범위 내에 모든 스테이션에 의해 처리되며, 지상국은 GRAS(Ground-Based Regional Augmentation System), TIS-B(Traffic Information Service-Broadcast) 또는 FIS-B(Flight Information Service-Broadcast)와 같은 다른 방송서비스를 제공한다. 또한, 지상국과 이

동국 그리고 직접적인 이동국 간의 ATN (Aeronautical Telecommunication Network)과 Non-ATN, Point-to-point 통신을 지원한다. 2개의 Global Signalling Channels(GSC1, GSC2)이 VDL Mode 4 스테이션에 할당된다. 부가적인 채널은 서비스를 방송하는 지상국이 설치되어 있는 지역에서 할당할 수 있다. 이동국은 Air/Air point-to-point 통신과 기본 ADS-B 지상국에 의존하지 않고 운영할 수 있으며, 지상국의 포착범위 이외 지역일 때도 자율적으로 운영될 수 있도록 한다[15],[16].

ADS-B 구축을 위해 VDL Mode 4를 사용할 때, 항공기의 항법 데이터는 데이터 링크 상에서 사용 가능한 타임 슬롯을 통해서 전송이 이루어진다. 데이터 링크 사용 예는 다음 그림 2와 같다.

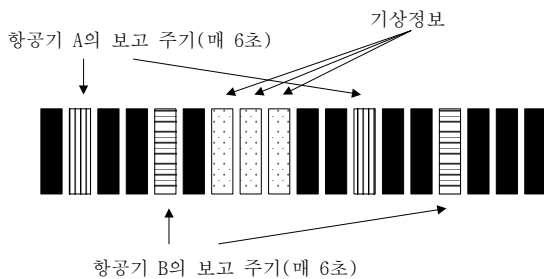


그림 2. VDL Mode 4에서 타임 슬롯의 사용
Fig. 2. Usage of time slot in VDL Mode 4.

그림 2에서 각 항공기는 매 프레임마다 자신이 할당받은 채널에서 자신의 위치 정보 등을 다른 항공기가 인지할 수 있도록 전송한다. 또한, 지상국에서는 사용하지 않는 타임 슬롯을 이용하여 모든 항공기에 공통적으로 필요한 기상정보 등을 방송하게 된다.

2-2 VDL Mode 4 동작 특성

VDL Mode 4의 중요한 특징은 새로운 전송을 하거나 앞으로의 재전송을 예약하기 위한 슬롯을 선택하는 데 사용하는 방법이다. 채널이 busy 상태가 아닌 경우, 다른 스테이션에 의해 미리 예약되지 않은 슬롯을 쉽게 찾을 수 있기 때문에 슬롯 선택은 용이하다. 채널이 busy 상태가 되어 예약되지 않은 슬롯을 찾기 힘든 경우, VDL Mode 4는 스테이션이 먼 거리에 있는 다른 스테이션에 의해 미리 예약된 슬롯을

사용하도록 한다. 이것은 채널이 busy 상태가 될 수 있는 범위 내에서 스테이션의 커버리지 영역을 감소시키고 통신 기능의 급격한 감소를 없도록 해준다. 추가적인 이점은 모든 스테이션이 슬롯 선택을 수행할 수 있고, 채널 자원 관리를 수행하는 데 지상 스테이션에 대한 의존성이 없다는 것이다. 다음 그림 3은 슬롯 선택 절차를 보여주고 있다.

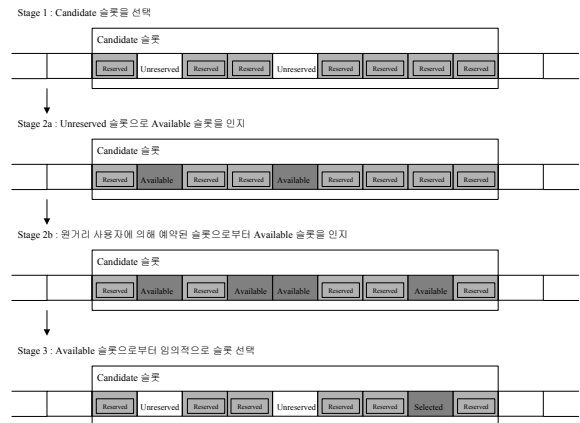


그림 3. VDL Mode 4 슬롯 선택
Fig. 3. VDL Mode 4 slot selection.

슬롯 선택 절차는 다음과 같다.

- ① 데이터를 전송하거나 앞으로 데이터를 전송하기 위해 예약하고자하는 스테이션은 슬롯이 선택되어질 Candidate 슬롯 범위를 설정한다.
- ② 해당 스테이션은 Available 슬롯들의 리스트를 작성한다. Available 슬롯들은 Candidate 슬롯들의 부분으로써, Unreserved 슬롯들과 미리 다른 스테이션에 의해 예약되었어도 특별한 규칙에 의해 사용되어질 수 있는 Reserved 슬롯들로 구성된다. 마지막으로 슬롯을 선택하기 전에 하나 이상의 스테이션이 동일한 슬롯을 선택할 수 있는 확률을 감소시키기 위해 Available 슬롯들의 개수를 설정하는 것이 매우 중요하다. 보통은 4개로 설정된다. 즉, Candidates 슬롯들 중에 단지 한 개의 Unreserved 슬롯이 있다면, 하나 이상의 스테이션이 해당 슬롯을 선택할 확률은 상당히 높아지고 해당 슬롯은 사용할 수 없게 된다.
- ③ Available 슬롯들로부터 임의적으로 한 개의 슬롯이 선택된다.

2-3 Waveform 특성

VDL Mode 4 항공기 스테이션의 송신기는 112.000[MHz]로부터 136.975[MHz]까지 임의의 25[KHz] 채널로 동조할 수 있어야 하며, VDL Mode 4 수신기는 108.000[MHz]로부터 136.975[MHz]까지 임의의 25[KHz] 채널로 동조할 수 있어야 한다. 지상 스테이션은 108.000-136.975[MHz] 밴드 안에서 할당된 25[KHz]로 동작할 수 있어야 한다. VDL Mode 4에서 사용될 예정인 변조기술은 GFSK(Gaussian Filtered Frequency Shift Keying)이다. 이것은 두 가지 톤을 갖는 연속된 위상을 갖는 주파수 천이 키잉 기술이다. 이진수 0과 1은 $0.25 \pm [0.03]$ 의 변조 지수와 $0.28 \pm [0.03]$ 의 BT product 파라미터로 생성된다. 데이터 전송 속도는 $19,200\text{bps} \pm 50\text{ppm}$ 의 전송률을 갖는다.

VDL Mode 4에서, 채널 시간은 고정 길이 시간 슬롯들로 나뉘어지며, 채널 관리에 사용되는 슈퍼 프레임은 60초의 주기로 회전되는 슬롯들의 그룹으로 구성된다. GFSK 변조의 VDL 모드 4 사용시 슈퍼 프레임은 4500개의 슬롯(초 당 75개의 슬롯과 같다.)으로 구성된다. 이것은 그림 4에 나타냈다.

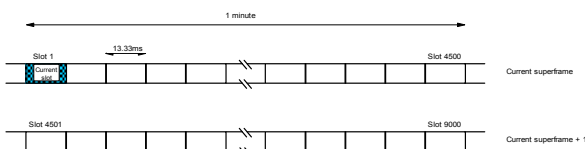


그림 4. GFSK 슈퍼 프레임 구조

Fig. 4. The structure of GFSK super-frame.

각 시간 슬롯은 데이터 링크로 통신하는 임의의 스테이션에 의해 송신 또는 수신을 쉽게 얻을 수 있다. 한 위치(ADS-B) 보고는 데이터 링크에서 one time 슬롯을 점유한다. 다른 전송들은 응용에 의지하는 한 슬롯보다 훨씬 많이 점유할 수 있다.

III. STDMA 모델링 및 시뮬레이션 환경

STDMA를 구현하기 위한 상태를 보면 크게 5가지 상태로 나누어 볼 수 있다. Comm 상태, 초기 상태, 네트워크 엔트리 상태, 최초 프레임 상태 그리고, 연

속 동작 상태이다.

Comm 상태에서 각 스테이션은 1 타임 슬롯의 길이를 갖는 자신의 위치 정보 패킷을 연속적으로 방송한다. 타임 슬롯은 STDMA를 이용하여 선택된다. 위치 정보 외에 Comm 상태를 추가하여 패킷을 전송한다. 초기 상태는 스테이션이 전원을 켜올 때, 초기 상태가 되며 1분 정도의 시간이 소요된다. 이 시간 동안 스테이션은 채널 동작상태, 다른 스테이션의 상태, 현재 슬롯의 할당 상태를 감시하게 된다. 1분 후, 스테이션은 네트워크 엔트리 상태로 들어간다. 네트워크 엔트리 상태 동안 스테이션은 전송 슬롯을 선택하고, 데이터 링크에 자신을 나타내도록 준비한다. 우선 NI(Nominal Increment)를 결정한다. NI는 원하는 보고률(RR : Report Rate)로 나눈 1분당 슬롯의 총 개수와 같다. 첫 번째 전송 슬롯을 선택하기 위해, 스테이션은 NSS(Nominal Start Slot)를 선택한다. NSS는 현재 슬롯과 NI 슬롯으로부터 랜덤하게 선택된다. 다음으로 SI(Selection Interval)이 결정된다. SI는 항상 NI의 20%이며, NSS가 중간에 위치할 수 있도록 선택된다. 슬롯은 SI내에서 랜덤하게 선택되며, 이 슬롯이 사용 가능하다면 체크되고 그렇지 않은 경우 좌우에 인접한 슬롯이 체크된다. 이러한 절차는 SI 내에서 사용 가능한 슬롯이 발견될 때까지 반복된다. 항상 사용 가능한 슬롯의 집합이 있어야 한다. 링크가 최대 용량에 다다르면, 슬롯은 가장 먼 거리에 위치한 스테이션이 점유한 슬롯부터 다시 사용하게 된다. 선택된 슬롯은 NTS(Nominal Transmission Slot)가 된다. NTS에 이르면, 최초 프레임 상태로 된다. 최초 프레임 상태 동안 스테이션은 계속적으로 자신의 NTS를 할당하고, 자신의 위치 정보를 전송한다. 각 NTS는 4~8분 사이에 유일한 슬롯 타임아웃으로 할당된다. 최초의 NTS에 이르면, 새로운 NS(Nominal Slot)와 NTS가 다음 전송을 위해 선택된다. NS는 NTS에 NI를 추가하여 선택된다. 새로운 SI는 NS 주변에 위치하고, NTS는 앞선 설명된 것과 같이 할당된다. 이러한 절차는 1분이 경과하고 초기 NSS가 다시 나타날 때까지 계속된다. 이 상태에서 스테이션은 연속 동작 상태로 된다. 연속 동작 상태에서 스테이션은 할당된 NTS에서 전송하고 슬롯 타임아웃을 감소시킨다. 타임아웃이 0이 되었을 때, 새로운 NTS가 앞서 설명

한 바와 같이 SI 내에서 선택된다. 상대 오프셋(슬롯 오프셋)은 수신 스테이션들이 상태를 인지할 수 있도록 위치보고 패킷에 삽입되어 전송된다. 이 상태는 시스템이 종료 또는 할당 모드로 들어가거나 보고를 (RR)이 변경될 때까지 유지된다. 다음 그림 5는 앞서 설명한 5가지 상태 변화에 대한 STDMA 시스템의 상태를 모델링한 것이다.

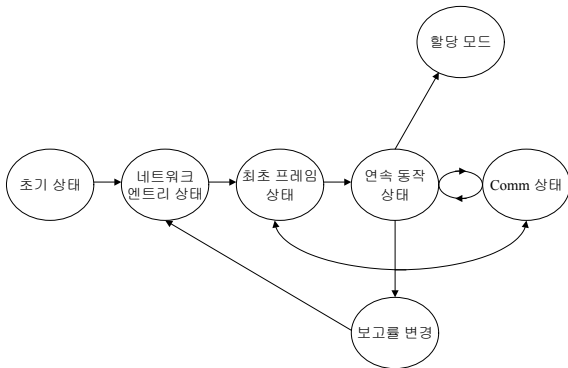


그림 5. 모델링된 STDMA의 상태도
Fig. 5. The status diagram of modeled STDMA.

그림 6은 시뮬레이션 절차를 나타낸 흐름도이다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 항공기는 처음 데이터 링크에 접속하면 자신의 시스템을 초기화시키고 네트워크 상에 엔트리를 등록시키게 된다. 자신이 전송할 패킷이 생성되면 앞서 설명한 슬롯 선택 절차에 따라 우선적으로 현재의 프레임 상에 사용 가능한 슬롯이 존재하는지 여부를 확인한다. 이 때, 사용 가능한 슬롯이 있으면 자신의 것으로 예약하고, 없으면 재사용 계획을 따른다. 다음으로는 생성된 메시지의 우선순위에 따라 스케줄링하게 된다. 개별 메시지의 우선순위에 따라 지상국의 해당 대기 큐에 저장되며 현재 사용 가능한 데이터 슬롯을 지정해 주는 역할을 하는 스케줄링 레지스터 내에 가용 위치가 발생될 때 또는 현재 프레임에 방송될 예약보다 우선순위가 높은 예약이 큐잉되어 있을 때 스케줄링 알고리즘을 통해 우선순위별로 순차적으로 대체되어 저장된다. 스케줄링이 성공하면 앞서 선택된 슬롯에 대해 슬롯 타임아웃을 감소시키게 된다. 계속적으로 감소하여 슬롯 타임아웃이 0이 되면 데이터를 전송하게 되고, ACK를 정상적으로 수신하면 데이터 전송은 성공하게 된다. 만약 ACK를 수신하지 못하게 되면 재전송

계획에 따라 다시 스케줄링을 통하여 앞선 절차를 반복하게 된다.

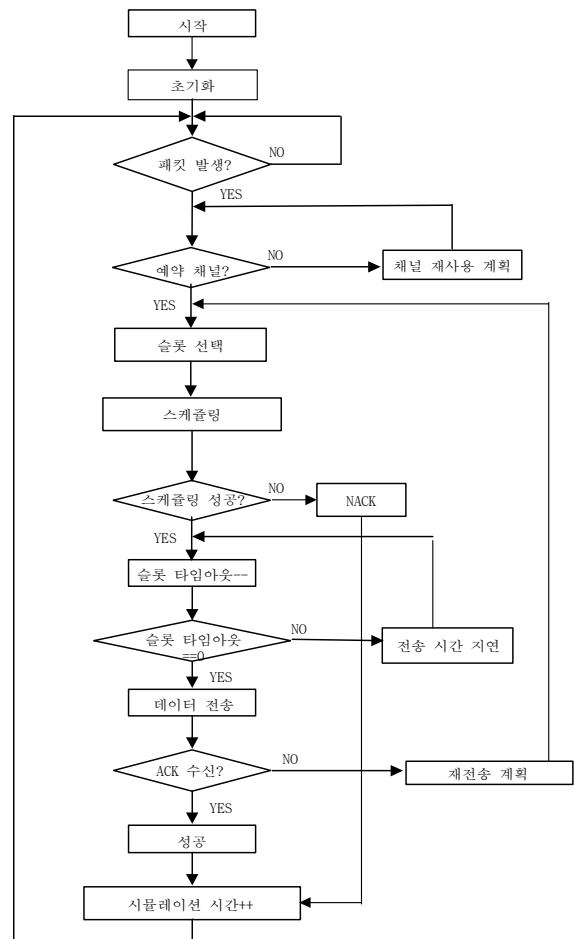


그림 6. 시뮬레이션 흐름도
Fig. 6. The simulation flowchart.

현재 VDL Mode 4에서 사용중인 STDMA 방식은 하나의 프레임을 여러 개의 슬롯으로 시분할하여 사용하는 TDMA 시스템의 특성을 갖는다. 그리고 한번 사용한 타임 슬롯은 다음 프레임에서도 해당 항공기에 의해서 사용된다. 이것은 최초 슬롯을 할당받을 때는 ALOHA 방식으로 경쟁하며, 일단 해당 슬롯을 할당받은 후에는 TDMA 방식으로 동작한다고 볼 수 있다.

STDMA의 채널 구조를 모델링하기 위해 우선 STDMA 타임 슬롯 재사용 방식을 살펴보면 STDMA 시스템에서는 각 타임 슬롯을 일정한 시간 간격으로 반복하여 사용할 수 있도록 타임 슬롯을 설정할 수 있다. 이 때, 일정한 시간 간격은 1분으로 하며, 메시지에 따라 타임 슬롯의 길이가 설정된다. 타임 슬롯

의 개수는 최소 60개에서 최대 15360개이며, 60개 단위로 증가하게 된다. GFSK에서는 기본 값으로 4500개의 타임 슬롯으로 설정되어있다.

STDMA 시스템의 전체적인 타임 슬롯 구조는 다음 그림 7과 같다. 각 사용자는 일정한 타임 슬롯 간격으로 자신의 정보를 전송하게 되고, 다른 사용자에 의해 점유되지 않아서 사용하지 않는 타임 슬롯을 이용하여 지상 스테이션으로 각 사용자에게 또는 모든 사용자에게 정보를 전송하게 된다. 모든 사용자에게 전송하는 정보에는 기상 또는 공항 정보 등이 포함되며, 각 사용자에게 전송하는 정보에는 ATC 메시지, FIS 메시지, 기타 낮은 순위의 메시지 등이 포함된다. 지상 스테이션에서는 각 항공기로부터의 요청에 따라 메시지를 수신하고 처리한 다음 우선순위에 따라 해당 정보를 요청한 항공기에게 전송한다.

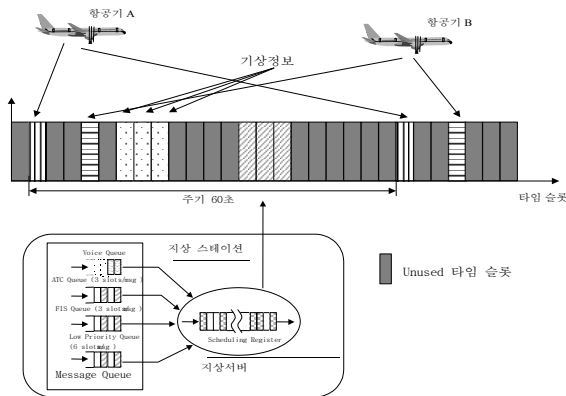


그림 7. STDMA 시스템의 전체적인 타임 슬롯 모델링
Fig. 7. The entire time slot modeling of STDMA system.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션은 이미 콜 셋업이 완료된 특정 M대의 항공기와 데이터의 우선순위를 고려하여 용량이 K인 각각의 개별 대기 큐를 가진 1개의 지상국과 통신하는 환경 하에서 메시지를 발생시키는 각각의 항공기를 구분하여 서로 다른 전송 확률로 발생된 메시지를 전송한다고 가정한다.

예약 채널을 통해 항공기로부터 전송되는 예약 패킷은 일괄적으로 처리되어 다음 슬롯의 지대공 채널을 통해 방송되므로 슬롯간의 충돌 방지를 위한 최소

한의 전파 지연시간만을 고려하였으며 1000ms의 STDMA 프레임을 25ms씩 40개의 슬롯으로 구성하였다. 데이터 패킷의 길이는 19.2kbps의 채널 속도를 고려하여 60바이트로 결정하였으며, 데이터 슬롯 뒤의 ACK 슬롯은 8바이트로 가정하였다.

실제 항공통신과 유사한 환경을 적용하기 위하여 발생된 데이터 메시지를 ATC(Air Traffic Control), FIS(Flight Information Service), AOC(Aeronautical Operational Communications) 메시지로 구분하여 순차적으로 우선순위를 부여하며 각각 1슬롯, 3슬롯, 6슬롯의 메시지 길이를 가진다고 가정한다.

시뮬레이션 시간은 250,000 ~ 400,000 바이트로 수행하여 결과 값에 대한 신뢰도를 높였으며, 현재 패킷 전송을 위해 채널 접속을 시도하는 항공기 대수에 대하여 채널효율 분석과 평균 지연시간 및 우선순위에 따른 메시지 개별 전송 지연시간 등을 분석하였다.

다음 표 1은 표준안을 기준으로 설정한 VDL Mode 4 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

시스템 파라미터	수치
채널 전송 속도, R_c	19.2kbps
프레임 길이, T	1000ms
데이터 슬롯 길이, τ	25ms
슬롯/프레임, N	40개
채널 수, M	60~100개
우선순위별 대기 큐	4개
스케줄링 레지스터	1개
패킷 발생 프로세서	Bernoulli 프로세서
최대 재전송 횟수	5회

데이터 채널 분석에서는 모든 통신 트래픽의 형태를 데이터로 제한하며 각각의 패킷 발생 비율과 전송되는 메시지 길이, 전송 확률 파라미터를 변화시켜 채널효율 및 지연시간을 분석하였다.

그림 8은 데이터 메시지의 전송 확률에 따른 채널 효율 변화를 나타낸 것으로 ATC, FIS, AOC의 3가지 메시지가 전송되는 환경을 고려하였다. 앞서 가정하와 같이 ATC는 1슬롯의 단일 메시지로 구성되며, FIS는 3슬롯 분량의 메시지로 매 10슬롯 간격으로, AOC는 6슬롯 분량의 메시지로 가정하였다. 채널 처

리효율 면에서는 전송 확률 0.045, 0.2, 0.3에서 모두 0.7에 가까운 유사한 최대 채널효율을 나타내었다. 그림 8에서 동시 접속 항공기 대수가 증가하더라도 이에 대한 처리효율이 지속적으로 유지되고 있다.

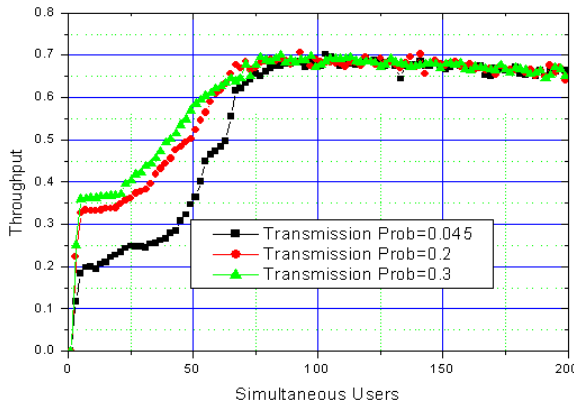


그림 8. 데이터 전송 확률에 따른 채널효율
Fig. 8. The channel efficient of data transmission probability.

그림 9에서는 채널 처리효율에 따른 평균 전송 지연시간을 나타낸 것으로 전송 확률이 0.045, 0.2, 0.3 일 때 최대 채널 처리효율에 대한 지연시간이 각각 2.32434sec, 2.0293sec, 2.12128sec로 채널 처리효율과 마찬가지로 비슷한 값을 보이고 있다. 그러나 전송지연시간의 경우 일정한 시점에서 급격히 증가되고 있음을 보이고 있다. 이것은 각 타임 슬롯을 할당받기 위한 대기시간이 증가하기 때문에 발생된다.

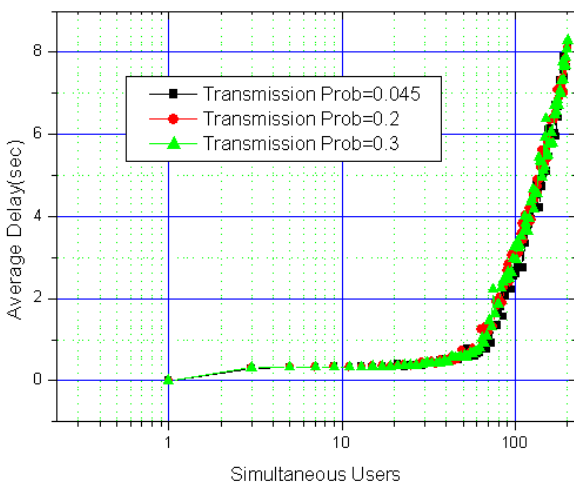


그림 9. 전송 확률에 따른 데이터 평균 지연시간
Fig. 9. The average delay of transmission probability.

음성 패킷은 지연에 대해 매우 민감한 반면 어느 정도의 패킷 손실이 허용되는 반면, 데이터 패킷의 경우 패킷의 손실에 대해서는 매우 민감하지만 어느 정도의 지연시간은 될 수 있다.

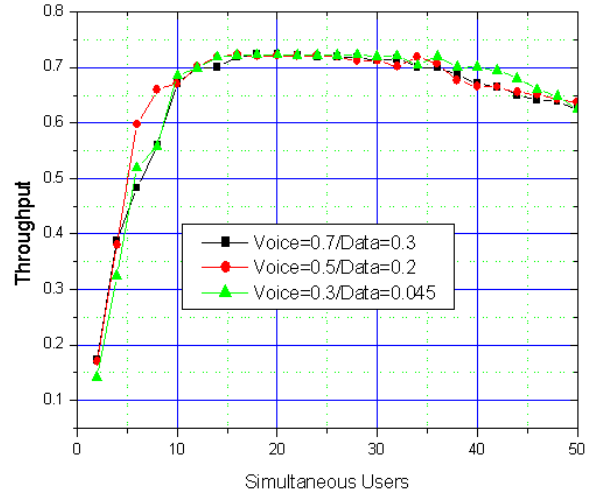


그림 10. 개별 전송 확률에 따른 채널효율
Fig. 10. The channel efficient of voice/data transmission probability.

그림 10에서는 4개의 물리적인 채널이 음성 채널에 의해 사용되고 있으며 다른 채널은 데이터 패킷을 전송하는데 사용하고 있다. 이 때, 채널을 사용하는 항공기 수에 따른 전체 채널 처리효율을 나타낸 것으로 음성 패킷의 전송 확률을 0.7, 데이터 패킷의 전송 확률을 0.3으로 하였을 때 채널 사용 항공기 대수 9에서 최대 채널효율 0.723을 보였으며, 음성 및 데이터 패킷의 전송 확률을 각각 0.5, 0.2로 설정하였을 때 항공기 대수 12에서 최대 처리효율 0.721을, 각각의 전송 확률을 0.3, 0.045로 하였을 때 항공기 대수 14에서 0.723의 처리효율을 보였다. 그림 10의 결과로 한 프레임 내의 채널은 음성 채널과 데이터 채널을 적절히 혼용하여 사용할 수 있음을 알 수 있다.

그림 11은 앞서 설명한 전체 채널 처리효율 과정과 같은 환경에서 발생된 전체 메시지의 평균 전송 지연시간을 나타낸 것으로 음성의 경우 4.8 kbps의 보코더를 이용한다고 가정하였다. 음성 패킷 및 데이터 패킷 전송 확률을 각각 0.7, 0.3으로 하였을 때 동시 이용 항공기 대수 46에서 평균 지연시간이 7.26초로 포화상태에 이르고 있으며 전송 확률이 점차적으로 낮아질수록 채널 포화시점이 늦어지는 것을 알

수 있다. TDMA 방식을 기반으로 하는 시스템은 적은 사용자에서는 우수한 성능을 나타내지만, 사용자가 많아지는 경우 시스템의 성능이 급격히 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 최대 사용자의 수가 시스템의 성능을 평가할 수 있는 요소가 된다. 음성 전송 확률은 0.3, 데이터 전송 확률은 0.045하여 최대 사용자의 수를 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

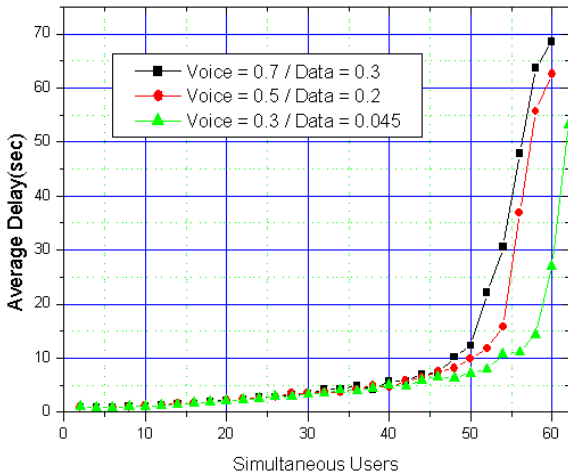


그림 11. 전송 확률에 따른 전체 메시지의 평균 전송 지연시간

Fig. 11. The average delay of voice/data transmission probability.

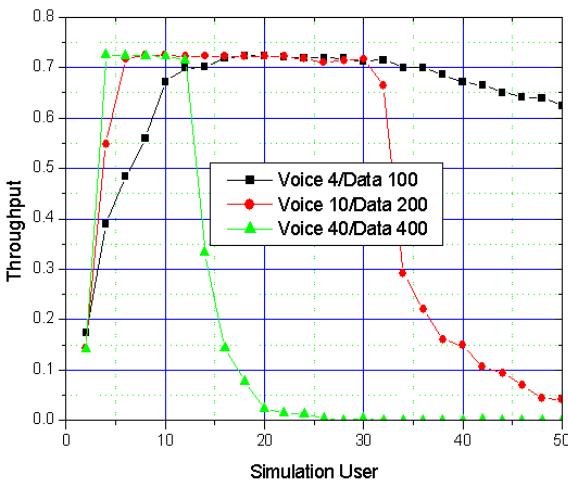


그림 12. 최대 사용자에 따른 채널 효율

Fig. 12. The channel efficient of maximum users.

그림 12는 최대 사용자의 변화에 따른 채널 효율을 나타내주고 있다. 음성 최대 사용자의 수를 4, 데이터 최대 사용자의 수를 100으로 하였을 때, 전체적인 채널 효율은 0.7 이상을 나타내주고 있다. 하지만,

최대 사용자의 수가 증가함에 따라 시스템의 성능은 급격히 떨어지게 된다. 음성 최대 사용자의 수를 10, 데이터 최대 사용자의 수를 200으로 하였을 때, 사용자가 30을 넘으면서 급격히 감소하며, 음성 최대 사용자의 수를 40, 데이터 최대 사용자의 수를 400으로 하였을 때는 이보다 더 앞서 10명을 조금 넘을 때부터 시스템의 채널 효율이 급격히 감소하게 된다.

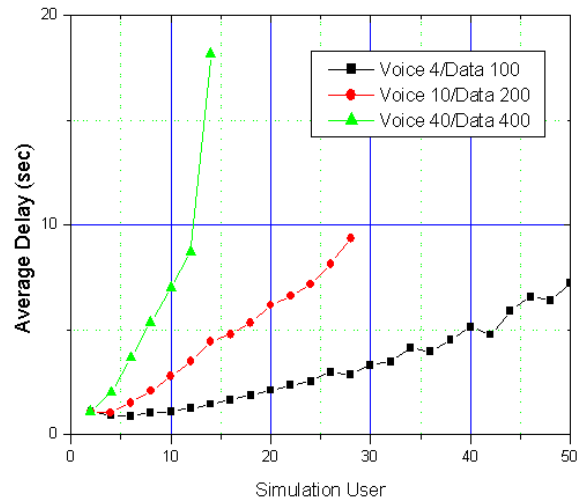


그림 13. 최대 사용자에 따른 전체 메시지의 평균 전송 지연시간

Fig. 2. The average delay of maximum users.

그림 13은 최대 사용자의 변화에 따른 평균 전송 지연시간을 나타내주고 있다. 앞서 살펴본 채널 효율과 비교하여 보면 결과를 잘 나타낼 수 있다. 음성 최대 사용자의 수를 4, 데이터 최대 사용자의 수를 100으로 하였을 때, 평균 전송 지연시간은 서서히 증가하게 된다. 이것은 많은 사용자가 접속을 시도함으로써 발생하는 시간 지연으로 볼 수 있다. 하지만, 최대 사용자의 수를 증가시킴에 따라 시스템의 전체 평균 전송 지연시간은 급격히 증가한다. 음성 최대 사용자의 수를 10, 데이터 최대 사용자의 수를 200으로 하였을 때, 사용자가 30을 넘으면서, 음성 최대 사용자의 수를 40, 데이터 최대 사용자의 수를 400으로 하였을 때는 이보다 더 앞서 10명을 조금 넘을 때부터 포화상태에 이르러 전송 지연시간이 증가하여 시스템이 적절히 동작하지 못함을 알 수 있다. 그러므로 적절한 최대 사용자의 수를 설정함으로써 시스템의 성능을 유지할 수 있게 할 수 있다.

V. 결론 및 향후 과제

항공교통수요 증가에 따른 사용자 수요가 계속적으로 증가함에 따라 주파수 채널은 수용한계에 이르고 있고, 항공이동 VHF 무선통신은 기존 음성통신 보다는 데이터 통신 위주로 변화되고 있어 앞으로 긴급한 경우의 음성통신 사용을 제외하고는 데이터통신 위주로 전환 될 것으로 예상된다. 이에 따라 매체 접속 프로토콜은 데이터 위주로 하며, 동시에 음성도 수용할 수 있는 기능을 요구하고 있다.

본 논문에 나타난 VDL Mode 4는 향후 구축될 위성항행시스템(CNS/ATM)의 핵심으로서 항공기 및 공항 이동체 등의 이동국간, 이동국과 고정 지상국간의 디지털 통신을 제공한다. 광역 서비스인 ADS-B와 점-대-점 통신 이용이 가능하고, 표준 대역폭 25[KHz]인 VHF 통신 채널로 디지털 데이터를 전송하며, 통신채널을 타임 슬롯으로 분할하고 국제표준 시인 UTC에 맞추어 이용한다. 또한 몇 가지 핵심사항은 지상의 인프라 구축에 관계없이 동작할 수 있고, 분산형 통신시스템이며, 다른 무선통신 기술보다 대역폭당 수용가능 용량이 크다는 점이 특징이다. VDL Mode 4에서 사용중인 STDMA 방식은 하나의 프레임을 여러 개의 슬롯으로 시분할 하여 사용하는 TDMA 시스템 특성을 가지고, 한번 사용한 타임 슬롯은 다음 프레임에서도 해당 항공기에 의해서 사용된다. 이것은 최초 슬롯을 할당받을 때는 경쟁하며, 해당 슬롯을 할당받은 후에는 TDMA 방식으로 동작한다고 볼 수 있다.

VDL Mode 4 표준안을 기준으로 한 시뮬레이션 파라미터 값에 의한 데이터 채널 분석 결과 채널효율 면에서 전송확률 0.045, 0.2, 0.3에서 모두 0.7에 가까운 채널 효율을 갖으며 그때의 지연시간은 각각 2.32434sec, 2.0293sec, 2.12128sec로 일정한 지연시간을 나타냈다. 그러나 전송지연시간의 경우 일정한 시점에서 급격히 증가함을 보이고 있는데, 이것은 각 타임 슬롯을 할당받기 위한 대기시간이 증가하기 때문에 발생한다. 또한 트래픽 혼합 환경과 최대 사용자 수에 따른 성능분석 결과 한 프레임 내에 채널은 음성과 데이터 채널을 적절히 혼합하여 사용할 수 있음을 확인하였고, 전송확률이 점차적으로 낮아질수

록 채널 포화시점이 늦어지는 것을 알 수 있었으며, 최대사용자 수를 증가시키에 따라 시스템의 전송 지연시간이 급격히 증가하므로 적절한 최대 사용자 수를 설정함으로써 시스템의 성능을 유지할 수 있다는 결과를 확인하였다.

따라서 VDL Mode 4를 앞으로 위성항행시스템(CNS/ATM)의 기반기술로 국내에서의 점-대-점 통신과 데이터/위치 방송에 적용함으로써 항공교통량 증가에 따른 국내 통신수요와 감시체제 개선요구에 효과적으로 대처할 수 것이라 기대되며, 본 논문에서는 VDL Mode 4 구축을 위한 STDMA 기술을 토대로 성능분석을 실시하였지만, 앞으로 본 기술을 적용할 경우 나타날 수 있는 시스템간의 호환기술과 국내 통신 Internetworking 표준화에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 항공정보포탈시스템, <http://www.airportal.co.kr/>
- [2] "VHF Air-Ground Communications System Implementations Alternatives Study and Selection of Proposals for Future Action : RTCA/DO-225," RTCA, Inc., 1994.
- [3] "Signal-in-Space Minimum Aviation System Performance Standards(MASPS) for Advanced VHF Digital Data Communication Including Compatibility with Digital Voice Techniques : RTCA/ DO-224," RTCA, Inc., 1994.
- [4] VINCENT P.GALOTTI Jr, "The Future Air Navigation System(FANS), Communication Navigation Surveillance Air Traffic Management," ICAO, 1997.
- [5] "FANS CNS/ATM STARTER KIT, Guide to Implementation," IATA, 1995.
- [6] "Aeronautical Telecommunications, Annex10," ICAO, March 1997.
- [7] "위성항행시스템(FANS) 도입방안 연구," 교통개발연구원, 1993.
- [8] "Migration Strategy to a Future VHF

Communication System" CEC DXGIII APAS 94, May. 1995.

- [9] 김용중, "무선 VHF 채널용 매체접속제어 프로토콜의 성능향상에 관한 연구," *인하대학교* 1998.
- [10] 김용중, 박용태, 박효달 "플래그를 이용한 항공 VHF 통신환경에서의 적응형 CSMA/CA 프로토콜," 2003년 12월, 한국항공학회, *한국항공학회 논문지* 7권 2호 pp.199-205
- [11] "Manual of The Secondary Surveillance Radar(SSR) Systems," ICAO, 1998.
- [12] "System Description for VDL Mode 4," Material Prepared for the FAA Safe Flight 21 Technically Certification Group-Link Evaluation Task, RTCA Free Flight Select Committee, June. 1999.
- [13] BOOZ ALLEN & HAMILTON, S.A "Phase 2 of a Mode S Enhanced Surveillance Cost Benefit Analysis," July. 1998.
- [14] Safe Flight 21 Steering Group, "Safe Flight Master Plan," Version. 2.0, FAA&CAA, April. 2000.
- [15] RTCA Free Flight Select Committee, Safe Flight 21 Steering Committee. "VDL Mode 4 Channel Management Schemes," EUROCONTROL, March. 2001.
- [16] RTCA Free Flight Select Committee, Safe Flight 21 Steering Committee. "VDL Mode 4 Networks : Air and Ground Architecture," EUROCONTROL, March. 2001.
- [17] RTCA Free Flight Select Committee, Safe Flight 21 Steering Committee. "VDL Mode 4 ADS-B Network : Ground Station Co-ordination including TIS-B and GRAS" EUROCONTROL, March. 2001.

김 용 중 (金勇中)



1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1998년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
 2005년 8월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)
 2006년 4월 ~현재 : 한림대학교 전자공학과 전임강사

관심분야 : 무선통신 시스템, 통신 프로토콜, 네트워크 프로그래밍, 센서 네트워크 응용.

박 효 달 (朴孝達)



1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1987년 : (불) 국립항공우주대학 전자공학과(공학박사)
 1992년 - 현재 : 인하대학교 전자공학과 정교수

관심분야 : 항공통신 시스템, 초고주파공학