

# 항공 이동 통신 환경에서 음성 및 데이터 혼합 트래픽을 위한 프로토콜에 관한 연구

박홍진, 김용중, 박효달  
인하대학교 전자공학과

## A Study on the Voice/Data Combined Traffic Protocol in Aeronautical Mobile Communication

Hong-Jin Park, Yong-Joong Kim, Hyo-Dal Park  
Dept. of Electronic Eng. Inha Univ.

### 요 약

본 논문에서는 항공 채널 자원을 효율적으로 활용하기 위해, 음성 및 데이터 혼합 트래픽을 처리할 수 있는 프로토콜을 항공 이동 통신 환경에서 모델링 및 시뮬레이션 분석을 하였다. 현재 항공 이동통신에서는 늘어나는 항공 교통량으로 인해 채널이 포화상태에 이르고 있으며 이의 해결 방안으로써 음성위주의 통신 환경에서 데이터 위주의 통신환경으로 바뀌어가고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 항공 환경에 적용될 수 있도록 IEEE 802.11의 DCF와 PCF를 모델링함으로써 음성과 데이터 채널을 통합하고 우선순위 기능을 갖도록 하였다. 시뮬레이션 분석을 수행한 결과 기존 항공 이동용 MAC프로토콜에 대등한 처리량과 지연 시간을 보였으며, 특히 우선 순위 메시지인 경우 거의 지연 없이 보낼 수 있었다.

### 1. 서론

현재 항공 분야에서는 항공 교통량의 꾸준한 증가로 인하여 많은 문제점이 발생하고 있다. 예를 들어 항공 통신용 주파수 수요 증가, 항공기 충돌 확률 증가, 운용 비용증가, 항공기 지연시간 증가가 그것이다. 이중 제한된 주파수 자원 문제는 항공기와 항공기, 항공기와 지상간 통신에 많은 어려움을 야기하여 항공기 안전 운항에 위협적인 요소가 되고 있다.

주파수 문제와 함께 데이터 통신의 필요성은 미래 교통환경에서 더욱 요구되고 있다. 현재 음성 위주의 통신이 데이터 위주로 바뀌면 조종사의 업무 부담을 줄일 수 있으며, 데이터 통신의 시각적 명확성 때문에 의사 재확인과 같은 반복 작업을 줄여 채널 점유시간 감소 등에 도움을 줄 수 있다. 때문에 음성과 데이터 채널의 통합이 새로운 시스템에서는 필요하다.<sup>[6]</sup>

이에 국제 민간항공기구(ICAO)는 위 두 가지 사항을 고려하여 새로운 시스템에 대한 연구를 추진하고 있다. 이러한 시스템은 동적 슬롯 할당 방식에 기반한 TDMA로서 채널수 증가와 함께 음성과 데이터 통합을 꾀하고 있다. 하지만 이러한 시스템 도입을 위해서는 현재 사용하고 있는 항공기와 지상국의 시스템을 전면 교체해야하는 문제점이 있어서 시스템이 전 세계 항공 분야에 적용되기까지는 최소 10년, 길게는 수십년 이상이 걸릴 것으로 예상되고 있다.

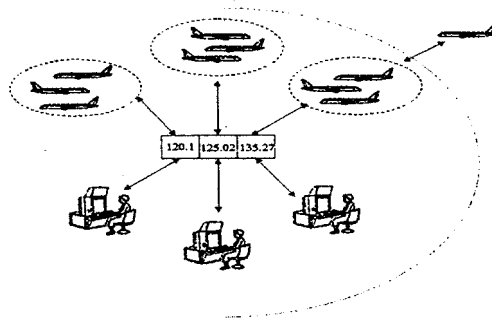
본 논문에서는 미래 항공교통환경에서 요구하고 있는 음성과 데이터의 통합 운영을 지원하면서, 현재 항공 시스템에 변경을 가하지 않고 적용할 수 있도록, 무선 랜에 대한 표준인 IEEE 802.11 프로토콜을 항공 환경에 적용하여 시뮬레이션을 통해 분석해 보았다.

## 2. 항공 VHF 데이터 통신

현재 항공 이동 통신환경에서는 117.975 - 137MHz 사이의 주파수를 이용해 760개의 25kHz 대역폭 채널을 운용중이다. 그러나 증가하는 항공 교통량으로 인해 조만간 채널은 포화상태에 이를 것으로 예상되며, 북유럽과 북미일부 지역의 경우 현재 포화상태에 이르렀다. [1]

이러한 문제 해결 방안으로 유럽에서는 25kHz 채널 대역폭을 8.33kHz로 줄여 3배의 채널 증가 효과를 볼 수 있는 방안을 연구중에 있으며, 미국에서는 25kHz 대역폭은 그대로 유지하면서 시간 축을 네 개의 슬롯으로 나누어 채널 증가 효과를 볼 수 있는 TDMA 방식을 연구중에 있다. 유럽에서 연구중인 방식은 기존의 시스템 변경없이 적용할 수 있는 장점이 있으나 지속적인 채널 확장이 어렵고 음성과 데이터 채널을 따로 운영함으로써, 데이터 통신이 증가하는 미래 항공 교통환경에 효율적으로 적용할 수 없는 단점이 있다. 반면 TDMA 시스템은 지속적인 채널확장이 가능하고 음성과 데이터 채널을 통합할 수 있어 미래의 시스템으로 그 가능성을 인정 받고 있다.

하지만 이러한 TDMA 시스템은 현재 항공 시스템을 전면 교체해야 하는 단점이 있어 단기 내에 적용하기 어려운 단점이 있다 [그림 1]은 항공 이동용 VHF 통신의 운용도를 나타내고 있다.



[그림 1] 항공이동용 VHF 통신의 운용

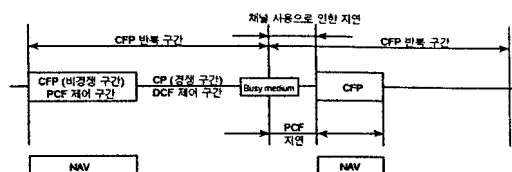
항공 이동 통신의 물리적 환경을 살펴보면, 항공 이동통신 환경에서 중앙 관리자의 역할은 지상의 관제소가, 이동 스테이션의 역할은 각각의 항공기가 수행한다. 또 BBS(Basic Service Set)은 지상 관제소가 관할하는 공역내를 운항하는, 같은 주파수를 쓰는 항공기가 된다. 항공환경에서 지상국은 반경 200NM 즉 370km의 큰 영역을 서비스하므로 무선 LAN에서 보다 큰 1.2ms라는 지연시간을 갖게된다. 하지만 항공 환경은 VHF 주파수를 이용한 LOS(가시선내 통신)을 기본 통신 조건으로 내세우므로 hidden스테이션 문제가 발생하지 않는다.

통신 방식에서 살펴보면, 항공 이동 통신은 단일 주파수로 지대공과 공대지 통신을 수행하는 단일채널 복합방식이 사용된다. 패킷의 전송 속도는 Nyquist 대역폭 이론에 의해 25kHz 대역폭에서 최대 12.5baud, 즉 37.5kbps의 속도를 낼 수 있으나 안정성을 고려하여 31.5kbps의 속도를 사용하고 있다. 또 음성을 인코딩하기 위해 48kbps의 보코더 비트율을 사용하고 있다.

### 3. 음성 및 데이터 혼합 트래픽을 위한 프로토콜

본 논문에서는 항공 이동 통신의 특징인 음성과 데이터통합 채널을 얻어내기 위해, IEEE 802.11을 항공 환경에 적용하였다. 채널구조는 DCF(Distributed Coordination Function)가 제공하는 경쟁 서비스와 PCF(Point Coordination Function)에 의해 옵션으로 제공되는 비경쟁서비스로 구성된다. 채널 주기는 비경쟁 구간(Contention Free Period)과 경쟁 구간(Contention Period)이 반복적으로 나타나며, 비경쟁 구간에 있을 때는 지상국에 있는 PCF가 각각의 스테이션에 폴을 수행함으로써 경쟁 없이 패킷을 전송할 수 있다. 반면 경쟁 구간에 들어서면 DCF로 채널 제어권이 인계되고 각각의 항공기는 경쟁을 통해 채널에 접속을 할 수 있다. [그림 2]은 CFP와 CP의 반복주기를 나타내고 있다.

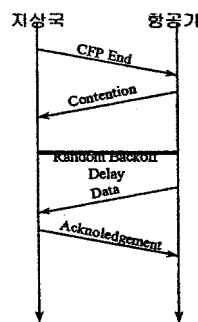
DCF와 PCF가 제공하는 서비스는 기본적으로 프레임간 여백(IFS)을 감지함으로써 수행될 수 있다. 즉 각각의 항공기는 채널 휴지 상태의 지속 기간을 감지하고 있다가, Ack와 같은 제어 신호일 경우 SIFS, 비경쟁 구간내 데이터 전송일 경우 PIFS, 경쟁 구간내 데이터 전송일 경우 DIFS 구간 만큼을 기다린후 그 기간내 다른 항공기에서 전송을 시작하지 않으면 프레임을 전송할 준비를 한다. 이때 데이터 전송 에러가 발생하면 EIFS만큼을 기다린후 새로운 전송이 시작된다.



[그림 2] CFP와 CP 반복 주기

### 3.1 데이터 트래픽 구간(경쟁 서비스 구간)

DCF가 제어하는 비경쟁 구간에서, 각각의 항공기는 경쟁을 통해 채널에 접속을 시도한다. 즉 채널을 감지하여 채널 휴지 기간이 DIFS만큼 지속된다면 전송 준비를 시작하게 된다. 이때 전송을 기다리던 항공기간 패킷 충돌을 방지하기 위해 각각의 항공기는 랜덤 백오프 지연 시간을 발생시키고, 채널이 한가할 때마다 타이머를 감소시켜 타이머가 0이 되었을 때 전송을 시도한다. 또 현재 트래픽량을 충돌 방지에 활용하기 위해 CW(Contention Window)라는 개념을 사용하는데 이것은 해당 항공기가 보낸 패킷이 충돌할 때마다 랜덤 백오프 지연 시간을 2진 지수적으로 증가시키는 역할을 한다. [그림 3]는 채널이 비경쟁 구간과 경쟁 구간으로 구성되었을 경우에 데이터의 흐름을 나타낸다.



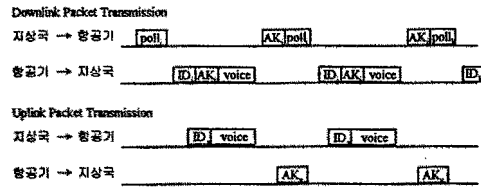
[그림 3] 경쟁구간에서 항공기에서 지상국으로의 패킷전송

채널을 감지하기 위한 메카니즘은 물리 계층이 수행하는 물리적인 방법과 MAC 계층이 수행하는 가상적인 방법이 있다. 여기서 가상적인 채널 감지 메카니즘은 RTS 및 CTS 전송시 패킷 내부에 각 항공기가 사용할 채널 기간 정보를 포함함으로써 송, 수신에 연관되지 않은 항공기가 그 정보를 받아볼 수 있게 하고 있다. 또 RTS 및 CTS 전송 메카니즘은 hidden 스테이션 존재시에도 그 기능이 효과를 발휘하지만, 항공 환경에서는 항공기와 항공기간, 지상과 항공기간 가시선내 통신을 전제로 하므로 항공 이동 통신 환경에서 hidden 스테이션 문제는 발생하지 않는다.

### 3.2 음성 트래픽 구간(비경쟁 서비스 구간)

PCF가 제공하는 비경쟁 서비스 구간은 음성과 같이 지연에 민감한 우선 순위를 갖는 정보 전송에 사용된다. 채널이 CFP(비경쟁 구간)에 들어서면 채널 제어권은 지상국에 있는 PCF에게 넘어가고, 지상국은 비콘 프레임을 모든 항공기에 전송함으로써 비경쟁 구간이 시작되었음을 알린다. 비콘 프레임 내부에는 CFP 구간 길이에 대한 정보를 포함하므로 모든 항공기는 CFP의 지속 시간에 대해 알 수 있다. 또 CFP가 끝날 무렵에는 지상국이 비경쟁 구간의 종료를 알리는 CF-End 프레임을 모든 항공기에 전송함으로써 CFP 구간이 끝났음을 알린다.

비경쟁 구간에서 데이터 전송은 아래와 같다. 업링크 전송의 경우 지상국은 각각의 항공기에 폴을 하고 각각의 항공기는 폴에 대한 Ack 응답과 함께 데이터를 실어 보내게 된다. 반면 다운링크 전송의 경우 폴을 수행할 필요없이 지상국은 데이터를 해당 항공기에 전송하며, 해당항공기는 Ack 패킷으로써 패킷전송 성공 여부에 응답한다. [그림 4]는 비경쟁 구간에서 지상국과 항공기간 패킷 전송과정을 나타낸다.



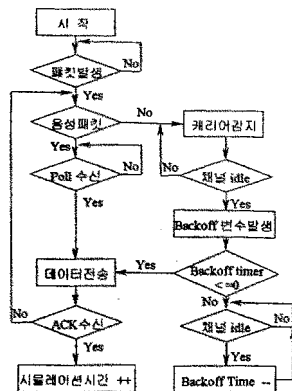
[그림 4] 비경쟁 구간에서 지상국과 항공기간의 패킷전송

#### 4. 시뮬레이션 분석

시뮬레이션 분석에서는 지상국이 폴링을 사용하여 채널을 제어하는 비경쟁 구간과 각 항공기들이 경쟁을 통하여 채널에 접속할 수 있는 경쟁구간의 길이 비율을 3:7로 설정하였다. 또 지연시간은 1.2ms, 데이터 길이 200byte ACK 패킷 길이 15byte로 설정하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과에서는 처리량, 지연 시간(sec), 경쟁 구간자 비경쟁 구간에서 각각의 지연 시간 비교 결과를 나타내었다.

##### 4.1 시뮬레이션 수행 절차

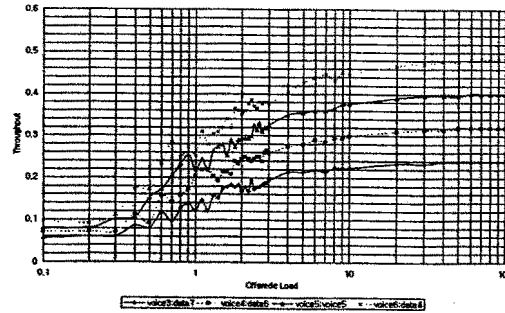
시뮬레이션 수행 절차는 아래와 같다. 우선 패킷 발생을 점검하고, 지연에 민감한 음성 패킷인 경우 채널이 비경쟁 구간에 진입한 후 폴을 수신하면 데이터 전송을 시도한다. 반대로 우선 순위가 낮은 데이터 패킷이 발생되면 채널상태를 감지하여 랜덤 백오프 지연 시간을 생성한다. 데이터 패킷의 전송은 백오프 지연 시간이 0으로 감소했을 경우 전송되어진다. [그림 5]는 시뮬레이션 수행 절차를 나타내고 있다.



[그림 5] 시뮬레이션 수행 절차

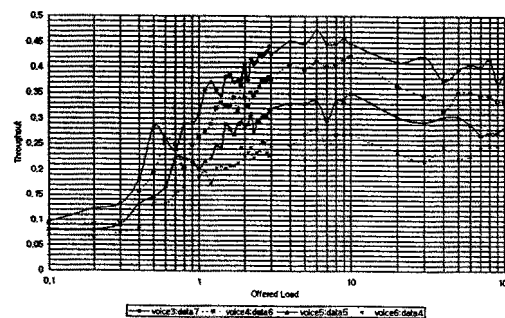
## 4.2 시뮬레이션 결과

[그림 6]은 음성 트래픽 구간의 변화에 따른 음성 패킷처리량을 보여주고 있다. 부하량이 10을 넘어서면서 일정한 처리량을 보이고 있다.



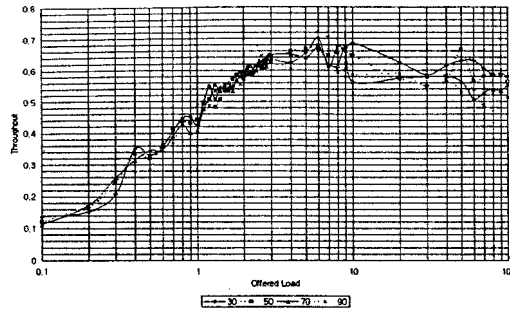
[그림 6] 비경쟁구간 비율변화에 따른 음성 트래픽 처리량

[그림7]은 데이터 트래픽 구간의 변화에 따른 데이터 패킷 처리량을 보여주고 있다. 부하량 10까지 처리량 증가를 보이지만, G=10이 넘어서면 충돌 확률 증가로 인하여 처리량 감소를 보이고 있다.



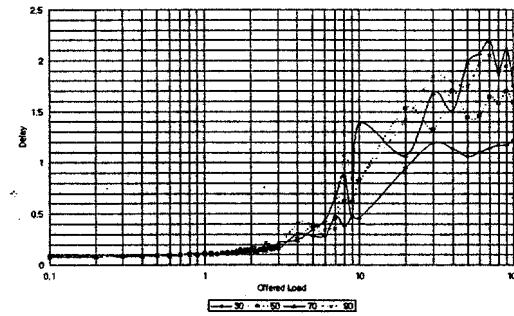
[그림 7] CP의 변화에 따른 데이터 트래픽 처리량

[그림 8]은 CFP와 CP의 비율이 3:7인 경우, 항공기수 변화에 따른 패킷 처리량을 보여주고 있다.



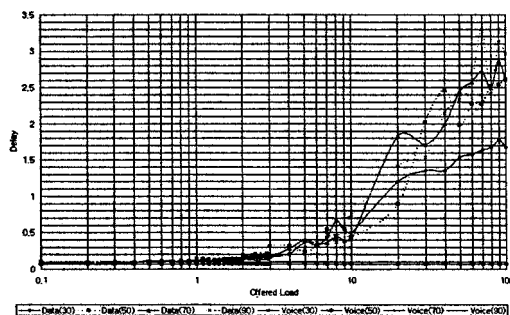
[그림 8] 음성과 데이터 통합 채널의 트래픽 처리량

[그림 9]는 [그림 8]과 같은 환경에서 패킷 지연 시간을 나타내고 있다. 항공기 수가 증가함 패킷 충돌로 인한 지연 시간이 증가함을 나타내고 있다.



[그림 9] 음성과 데이터 통합 채널의 트래픽 지연 시간

[그림 10]은 음성 트래픽 구간과 데이터 트래픽 구간의 지연 시간을 나타내고 있다. 폴링 방식을 사용하는 음성트래픽 구간은 데이터 트래픽 구간과 달리 지연이 일정함을 볼 수 있다.



[그림 10] CFP와 CP 구간에서의 패킷 지연 시간 비교

## 5. 결론

본 논문에서는 항공 이동 통신 환경에서 음성 채널과 데이터 채널을 통합하고 우선 순위 기능을 부여하기 위해 IEEE 802.11을 적용하였으며, 그 결과 음성 트래픽과 데이터 트래픽을 효과적으로 통합 할 수 있었고, 우선 순위를 필요로하는 음성 트래픽 구간에서는 폴링 방식을 이용함으로써 지연 없이 패킷을 전송 할 수 있었다. 적용된 프로토콜은 현재 항공 이동 통신에서 데이터를 위해 사용되고 있는 non-persistent CSMA에 비하여 처리량과 시간지연에 있어서 우수한 성능을 나타내었다. 또한 우선순위기능을 제공함으로써 앞으로의 항공 이동 통신 환경의 음성 및 데이터 통합 트래픽 채널에 응용할 수 있다.

## 6. 참고 문헌

- [1] "VHF Air-Ground Communication System Improvement Alternatives Study and Selection of Proposals for Future Action : RTCA/DO-225", RTCA,Inc., 1994
- [2] "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", IEEE Standards Draft July, 1996.
- [3] H. s. Chhaya, S. Gupta, "Performance of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocol", IEEE Personal Communications, pp.8-15, Oct. 1996.
- [4] 김용중 "무선 VHF 채널용 매체접속제어 프로토콜의 성능향상에 관한 연구", 인하대학교, 1998. 2.
- [5] "Signal-in-Space Minimum Aviation System Performance Standards(MASPS) for Advaced VHF Digital Data Communications Including Compatibility with Digital Voice Techniques : RTCA/DO-224", RTCA, Inc., 1994.
- [6] 박효달, "VHF 데이터 링크 운용 평가 및 국내 구축방안", 한국공항공단, Dec. 1995.