論文

대양항로에서 장거리 공대지통신을 위한 VHF Relay Network

구자열*

VHF Relay Network for Long Air-to-Ground Communication
in Oceanic Flight Routes

Jayeul Koo*

ABSTRACT

In oceanic flight routes, HF radio and satellite data links have been used for air-to-ground communication, but these systems have long propagation delay and low data throughput. In this paper, we propose a reliable system to overcome the weakness of current HF radio and satellite communication systems for oceanic aeronautical flight routes. The proposed scheme uses only one aeronautical VHF channel in multi-hop oceanic communication environments and supports a hybrid type of multiple access, which consists of random access and TDMA (Time Division Multiple Access) scheme. The proposed system improves performance on delay and throughput as an effective solution to communicate end-to-end on the oceanic flight routes and strengthens the reliability of oceanic aeronautical communication.

Key Words : VHF(Very High Frequency, 초단파), Multi-hop Network(다중홉 네트워크), Oceanic Communication(대양통신)

1. 서 론

세계 항공수요는 과거 30년간 7배로 증가하였으며, 2010년부터 2029년까지 향후 20년간 연평균 5.3%의 성장이 예상된다[1]. 기하급수적으로 증가하는 국제비행은 태평양, 대서양 등 대양을 비행하는 장거리 대양항로를 이용하고 있으며, 장거리 항로에서 항공기와 지상국 간의 공대지 통신수요도 증가하는 추세이다[2].

항로를 비행하는 항공기와 지상의 항공교통통제소 또는 항공사 간의 공대지 통신은 다양하다. 관제기관과 항공기 조종사 간의 항공교통통제 통신, 항공사와 조종사 간의 항공운항관리 통신, 그리고 항공행정관리 통신 및 항공여객 통신이 있

다. 이러한 통신 수요는 주기성 및 비 주기성으로 과거 음성위주의 통신에서 항공수요와 다양한 서비스 수요의 증가로 데이터위주 통신으로 발전하고 있다[3].

공대지 통신수단으로 육상항로에서는 주로 VHF 대역으로 항공기와 지상국 간 직접 통신하고, 대양항로에서는 HF대역 통신 또는 위성통신을 이용하고 있다. VHF대역 통신은 항공기와 지상국 간 통신가시거리(line of sight) 확보가 필요하여 지상에 설치되어 있는 원격통신망의 범위 내에서만 이용이 가능하며, 차세대 VDL(VHF Data Link) Mode-2,3,4가 연구되어 실용화 추세에 있다. HF대역 통신은 전리층에 전파를 반사하여 수평선 너머 장거리 통신이 가능하나, 지역, 계절, 시간에 따라 많은 영향을 받으므로 장거리 항로에서 공대지 통신 성공률이 80% 정도이며 [4], 데이터 전송률도 VHF대역 통신에 비해 낮은 편이다. 위성통신은 INMARSAT 위성 등 통신위성을 이용하여 세계 전지역 통신이 가능하나, 전파지연시간이 길고 데이터 전송률이 낮으며 고가

2012년 07월 05일 접수 ~ 2012년 09월 12일 심사완료
논문심사일 (2012.07.09 1차), (2012.09.12, 2차)

* 아주대학교

연락처, E-mail : koo69234@ajou.ac.kr

경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지

의 채널 사용료를 지불한다.

대양항로에서 공대지 통신을 HF대역 통신 및 위성통신의 제한사항을 극복하기 위하여 항로를 비행하는 항공기들을 활용한 VHF대역 릴레이(relay) 통신방안이 연구되어 오고 있다. VHF 채널을 이용한 대표적 릴레이 통신방안으로는 위성 통신만으로 사용하는 인터넷 서비스를 비행하는 항공기 간 Multi-hop Ad-hoc Networks를 구성하여 병행 활용함으로써 데이터 처리율과 인터넷 서비스를 향상하는 연구가 있었으며[5], TDMA 방식의 공대공 및 공대지 통신방안이 연구되었다[6]. 대양항로에서의 연구는 북대서양항로에서 비행중인 항공기 간 Mesh Network를 구성하여 데이터를 릴레이 전송하는 방안이 연구되었으며[7][8], 특히 북대평양항로에서 비행하는 전 항공기에 TDMA 방식으로 타임슬롯을 할당하여 릴레이 네트워크를 구성하는 방안이 연구되었다[4]. 하지만 이러한 연구들은 릴레이 노드를 선정하는 방안이 구체적이지 않아 인접 항공기를 릴레이 노드로 활용함으로써 연결 노드수가 과다하여 긴 전파지연시간이 수반되므로 다량의 항공 데이터 전송에는 제한이 따른다.

따라서 본 논문에서는 육상 VHF대역 원격 통신범위를 벗어나 대양항로를 비행하는 항공기가 VHF대역 한 개의 채널을 이용하여 지상국과 통신하는 방안을 제안한다. 랜덤 액세스(random access)와 TDMA 기법으로 구성되는 융합(hybrid) 형태의 다중홉 네트워크(Multi-hop Networks)를 구성하여 VHF대역 통신범위의 한계를 극복하였으며, 데이터를 목적지까지 릴레이 전송하기 위하여 릴레이 노드들을 최소화하기 위한 구체적인 선정방법을 제시함으로써 VDL 통신범위를 벗어나서도 VHF대역을 활용한 데이터링크가 가능케 하였다. 또한, 본 논문에서는 실제적 적용을 위하여 북대평양 항로를 가정하여 비행하는 항공기가 다중홉 네트워크를 구성함으로써 항공기와 지상국 간의 릴레이 통신에서 전파지연시간을 줄이고 데이터 처리율을 향상시킬 수 있음을 보였다.

2장에서 제안기법을 구체적으로 설명하였으며, 3장에서는 실제적 시나리오에 의한 시뮬레이션 및 그 결과를 분석하였고, 4장 결론 순으로 구성하였다.

2. 제안기법

2.1 통신환경 및 가정사항

본 논문은 대양항로를 비행하는 항공기들을 이용하여 다중홉 네트워크를 구성, 데이터를 목적지까지 릴레이 전송하는 방안을 연구한다. 통신환경은 비행하는 항공기들이 한 개의 VHF채널을 사용하여 데이터를 전송하며, 항공기들은 GPS 수신에 가능하고, 다른 항공기와 VHF대역의 가시범위(line of sight) 내에서 통신이 가능하며, 주기성 및 비 주기성의 공대지 데이터는 31kbps로 전송한다.

항공기들의 비행환경은 북대평양의 실제 항로 비행환경을 적용하여 약 10,000km 대양항로를 한 개의 단방향 항로를 따라 비행하며, 비행고도는 8~10km, 비행속도는 1,000km/hr, 항공기는 최소 90km의 분리간격을 유지한다.

2.2 다중 로컬네트워크 구성

육상 VHF대역의 원격 통신범위 내에서는 항공기와 지상국 간 VHF대역 직접 통신이 가능하므로, 제안하는 통신구간은 북대평양 전 항로구간에서 VHF대역 원격통신범위를 벗어난 항로를 그림1과 같이 다중 로컬네트워크(Multiple Local Network)로 구성한다. 한 개의 로컬네트워크는 항로의 비행고도에서 항공기들의 VHF대역 최대 통신범위 650km를 고려하여 직경 600km로 설정하였다.

Fig. 1 북대평양항로에서 로컬네트워크 구성도

한 개의 로컬네트워크는 그림2와 같이 릴레이 항공기(Relay AC)와 터미널 항공기(Terminal AC)로 구성되며, 대양항로에 진입 시 지상의 항공교통통제소에서 식별번호를 부여받는다. 로컬네트워크 범위 내에서 항공기는 최소분리간격 기준 90km를 적용 시 최대 7대까지 비행할 수 있다. 릴레이 항공기는 로컬네트워크 중심에 위치하여 터미널 항공기들의 데이터를 종합해서 인접 로컬네트워크로 릴레이 전송하는 노드이다. 터미널 항공기는 자신의 로컬네트워크 범위 내에서 항로상 릴레이 항공기 전후에 위치하며, 데이터 전송 시 릴레이 항공기를 이용하여 목적지까지 전송한다. 한 개의 로컬네트워크 내에서 릴레이 항공기와 터미널 항공기 간의 통신을 로컬네트워크 내

통신(Intra Local Network Communication), 로컬 네트워크의 릴레이 항공기들 간의 통신을 로컬네트워크 간 통신(Inter Local Network Communication)으로 정의한다. 따라서 전 북태평양 대양항로를 로컬네트워크로 연결하는 다중 로컬네트워크를 구성한다.

Fig. 2 로컬네트워크 통신

북태평양 대양항로를 비행하는 항공기들은 로컬네트워크 통신을 하게 된다. 로컬네트워크 내 통신은 그림2의 검은색 점선으로 로컬네트워크 내에 있는 터미널 항공기와 릴레이 항공기 간 패킷을 랜덤 액세스 기법으로 송수신한다. 로컬네트워크 단위로 데이터를 종합한 릴레이 항공기는 붉은색 점선의 로컬네트워크 간 통신을 통해 인접 로컬네트워크를 경유하여 TDMA 기법으로 목적지까지 데이터를 릴레이 전송한다.

전체 프레임 구조는 그림3과 같이 프레임 길이(Frame Period : FP) 단위로 구성된다. 한 개의 FP는 로컬네트워크 범위 내에서 패킷을 송수신하는 로컬네트워크 내 통신, 로컬네트워크의 릴레이 항공기들 간 데이터를 송수신하는 로컬네트워크 간 통신을 각각 구분하여 이루어진다. 한 개의 FP는 로컬네트워크 내 통신 52.84ms와 로컬네트워크 간 통신 467.02ms를 포함하여 519.86ms로 이루어진다. 전 항공기와 지상국은 GPS신호에 의하여 시간을 동기화한다.

Fig. 3 로컬네트워크 통신 프레임 구조

2.3 로컬네트워크 내 통신

로컬네트워크 내 통신은 그림4와 같이 랜덤 액세스 방식으로 수행된다. 비콘(Beacon) 전송 및 예약요청 구간에서 릴레이 항공기는 로컬네트워크 내 터미널 항공기(최대 6대)에게 비콘 패킷을 발송하고, 이를 수신한 터미널 항공기는 전송 데

이터가 있을시(Terminal AC 1,3,5) 예약요청(Request-to-Reservation) 패킷을 릴레이 항공기에 게 전송하여 데이터 전송예약을 요청한다.

Fig. 4 로컬네트워크 내 통신

터미널 항공기들은 로컬네트워크 중심에 위치한 릴레이 항공기의 전후에서 항로를 따라 같은 방향으로 비행하고 있어 전송예약요청 패킷 전송 시 릴레이 항공기와 동일 거리에서 패킷의 충돌이 가능하므로 이를 방지하기 위하여 릴레이 항공기 전후(Forward/Backward)로 구분하여 후방 터미널 항공기부터 예약을 요청한다. 릴레이 항공기는 터미널 항공기들의 데이터 전송순서를 정하여 예약허락 구간에 전송순서 패킷(Grant-to-Reservation)을 전파한다. 데이터전송 구간에서는 전송순서에 따라 터미널 항공기들은 데이터를 릴레이 항공기로 전송하게 되며, 릴레이 항공기는 이를 종합하여 로컬네트워크 간 통신을 하게 된다.

로컬네트워크 내 통신구간에서 항공기 간 전송 패킷 종류별 내용 및 크기는 다음 표1과 같으며, 전송 데이터 크기는 비행중인 항공기의 단위 전송 데이터[4]를 참조하여 정하였다.

표 1. 전송패킷별 내용

전송패킷	내용
Beacon	Relay AC(8bits)
Request-to-Reservation	Terminal AC(8bits) + 데이터 duration(3bits)
Grant-to-Reservation	Terminal AC 최대 6대 (8bits × 6대)
Data	Destination ID(8bits) + Source ID (8bits) + 데이터(84bits)

로컬네트워크 내 통신의 프레임 구조는 그림5와 같다. 대양항로를 비행하는 전 항공기는 동일 VHF 주파수를 사용하므로 로컬네트워크 간 패킷 충돌을 방지하기 위하여 부여된 식별번호를 이용, 홀짝으로 나누어 인접 로컬네트워크와 교차적으로 통신한다. 각 구간은 비콘 발송 및 예

약요청, 예약전파, 데이터 전송 순으로 패킷을 전송하며, 데이터는 로컬네트워크 내 터미널 항공기 최대 6대까지 한 개의 프레임 내에서 전송이 가능토록 설계하였다. 각 구간의 패킷 전송시간과 가드시간을 합하면 26.42ms이 되고, 인접 로컬네트워크와의 교차통신으로 전체 52.84ms의 시간이 소요된다. 데이터를 전송한 터미널 항공기들은 릴레이 항공기의 로컬네트워크 간 통신을 확인(overhear)하여 미전송 시 전송실패로 판단, 다음 프레임 구간에 데이터를 재전송한다.

Fig. 5 로컬네트워크 내 통신 프레임 세부구조

2.4 로컬네트워크 간 통신

릴레이 항공기는 터미널 항공기의 데이터를 종합하여 2개의 큐(Queue)에 저장하며, 각 큐에는 주기성 데이터와 비 주기성 데이터를 저장한다. 저장된 데이터는 로컬네트워크 간 통신을 통하여 목적지까지 전송하게 되며, 큐는 전송실패 시 재전송 또는 데이터 갱신을 위해 활용한다.

로컬네트워크 간 통신의 프레임 구조는 그림6과 같이 TDMA 방식으로 구성한다. 로컬네트워크 간 통신은 각 로컬네트워크 중심에 위치한 릴레이 항공기간의 통신으로 자신에게 할당된 타임슬롯에서 데이터 전송이 이루어지므로 릴레이 항공기 간 데이터 전송 충돌은 일어나지 않는다.

Fig. 6 로컬네트워크 간 통신 프레임 세부구조

전 로컬네트워크와 지상통제소 각각에 한 개씩의 타임슬롯이 할당되며, 대양항로 10,000km를 600km 단위의 로컬네트워크로 구성하면 최대 17개의 로컬네트워크가 가능하고 지상통제소는 항로상 양 단국으로 설정하였다. 각 타임슬롯에는 700bits를 할당하여 로컬네트워크 범위 내 최대 7대의 항공기가 대당 100bits씩 동시 데이터 전송이 가능토록 한다. 700bits 데이터 전송시간 22.58ms와 가드시간을 합하면 24.58ms이며, 최대 19개소의 로컬네트워크 및 지상국에 각각 타임슬롯을 할당하면 총 로컬네트워크 간 통신은 467.02ms의 시간이 소요된다.

지상국에서 항공기로 데이터 전송은 지상국에 할당된 타임슬롯에 데이터를 전송하면 로컬네트워크 간 통신 시 터미널 항공기들은 릴레이 항공기의 데이터 전송을 확인(overhear)하여 자신의 데이터를 수신한다. 각 데이터에는 송신자(Source ID) 및 수신자(Destination ID)가 포함되어 있으므로 확인 및 수신이 가능하다.

2.5 로컬네트워크 가입, 탈퇴, 이관

비행장을 이륙한 항공기들은 육상 VHF대역의 원격 통신범위 내에서 대양항로 진입 시 항공기를 통제하는 지상의 항공교통통제소에서 릴레이 항공기와 터미널 항공기를 각각 지정받아 로컬네트워크를 가입하며, 로컬네트워크 식별번호를 부여받아 로컬네트워크 내 통신에 활용한다. 터미널 항공기들은 자신이 릴레이 항공기의 전후(Forward/Backward)에 있는지를 알고 있으므로 로컬네트워크 내 통신 시 전후 순차적으로 패킷을 전송하게 된다. 항공기들은 항로를 비행한 후 각국 VHF대역 통신범위에 진입 시 항공교통통제소에 보고 후 로컬네트워크를 탈퇴하게 된다. 만약 항로비행중 항공기 기체결함 등 릴레이 항공기에 문제가 발생하여 데이터 릴레이 전송기능을 수행할 수 없을 때 릴레이 항공기는 동일 로컬네트워크 내에 있는 다음 터미널 항공기에게 그 기능을 이관한 후 탈퇴하게 된다.

3. 시뮬레이션

제안하는 방안의 성능은 H. D. Tu의 Mobile Ad-hoc Network 모델[4]과 비교하였다. 비교모델과 제안모델이 북태평양항로에서의 항공기 전송 데이터를 단일 VHF채널을 이용하여 지상국까지 릴레이하는 환경이므로 전파지연시간(Delay)

과 처리량(Throughput)을 비교하였다. 모의실험은 Matlab Tool을 사용하였다.

제안하는 방안에서는 로컬네트워크 단위로 이벤트(event)가 발생한다고 가정한다. 따라서 로컬네트워크에 포함된 7대의 항공기에서 메시지가 발생하며, 메시지의 개수는 최소 1개부터 최대 10개이고, 각 메시지의 크기는 100bits라고 가정한다. 그리고 적은 트래픽(light traffic)의 경우에는 로컬네트워크의 각 항공기가 1개씩 메시지를 발생하고, 많은 트래픽(heavy traffic)의 경우에는 각 항공기가 5개씩 메시지를 발생한다고 가정한다.

표 2는 시뮬레이션 파라미터를 정리한 것이다. 데이터 전송률은 31kbps이고, 10,000km 대양항로에서 항공기간 최소분리간격 기준 90km을 적용 시 최대 120대의 항공기가 비행한다고 가정하며, 본 실험은 1,000번을 수행한 결과이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
Data rate	31kbps
Message size	100bits
Number of aircraft	120대
Traffic	Event 당 Message 1-10개 (light: 1개, heavy: 5개)
Number of trial	1,000

그림7과 그림8은 H. D. Tu 모델과 제안모델과의 이벤트 발생이 증가할 때 지연시간과 처리량을 비교한 것이다. 이벤트는 7개 단위로 발생하므로 이벤트 7은 1개의 로컬네트워크에서 이벤트가 발생한 것이며, 이벤트 14는 2개의 로컬네트워크에서 이벤트가 발생한 것으로 이벤트 119개(17개의 로컬네트워크)까지 증가하면서 실험한 결과이다. H. D. Tu 모델은 인접 항공기를 릴레이 노드로 활용함으로써 데이터 릴레이 노드수가 많아 이벤트가 발생하여 증가 시 전파지연시간이 급격히 증가하고 처리량이 낮지만, 제안모델은 로컬네트워크 단위로 릴레이 노드수를 최소화하였으므로 비교모델에 비해 상대적으로 전파지연시간의 큰 증가가 없고 처리량도 향상되어 데이터 트래픽이 많은 환경에서 효율적이면서 안정적으로 데이터 전송이 가능하다. 항공수요의 급증에 따라 항공기와 지상국 간의 데이터통신과 인터넷 서비스의 증가 등 대양통신에서 전송 데이터가 기하급수적 증가가 예상되므로 제안모델은 이러한 장거리 대양통신 환경에서 공대지 데이터의 효율적 전송이

가능할 것으로 판단된다.

Fig. 7 이벤트 증가에 따른 지연시간 비교

Fig. 8 이벤트 증가에 따른 처리량 비교

그림9와 그림10은 동시에 데이터 전송이 발생한 로컬네트워크에서의 지연시간과 처리량을 비교한 것이다. 이벤트 1,2는 각각 한 개의 로컬네트워크와 두 개의 로컬네트워크에서 메시지 전송 이벤트가 동시에 발생하였음을 나타낸다. 이러한 메시지 동시 전송 로컬네트워크가 증가할수록 제안모델이 비교모델에 비해 상대적으로 낮은 전파지연시간과 높은 데이터 처리량이 이루어짐을 입증하였다. 특히, 메시지수가 적을 때에도 H. D. Tu 비교모델에 비해 제안모델이 전파지연시간에서 약 20분의 1 정도이고, 데이터 처리량에서도 약 20배 정도의 높은 성능을 입증되었다. 이는 메시지수가 증가하면서 전파지연시간의 큰 증가가 없이 높은 데이터 처리량의 성능이 나타남을 실험으로 증명하여 대양통신의 공대지 메시지 양이 증가하더라도 높은 성능의 메시지 전송이 가능할 것으로 분석된다.

Fig. 9 동시 데이터 전송 증가에 따른 지연시간 비교

Fig. 10 동시 데이터 전송 증가에 따른 처리량 비교

시뮬레이션 결과를 종합해 보면, 제안하는 모델이 H. D. Tu 모델에 비하여 낮은 전파지연시간과 높은 데이터 처리량이 가능하여 효율적인 데이터 전송에 적합하다고 볼 수 있다. 제안하는 기법은 국제기준에 따라 대양항로를 비행하는 항공기들을 활용한 릴레이 통신으로 제한사항은 없다고 할 수 있다.

4. 결 론

대양항로를 비행하는 항공기들은 지상국과의 통신으로 HF망 또는 위성을 활용하고 있으나, 낮은 전송율과 고비용으로 이용하는데 제한이 따른다. HF망 또는 위성 통신의 제한사항을 극복하기 위하여 VHF대역 릴레이 통신방안이 연구되어 오고 있으나 릴레이 노드를 선정하는 방안이 구체적이지 않아 인접 항공기를 릴레이 노드로 활용함으로써 연결 노드수가 과다하여 많은

전파지연시간이 수반되는 한계가 있다. 본 연구는 지상의 VHF대역 원격통신범위를 벗어나 대양항로를 비행하는 항공기들을 이용하여 한 개의 VHF대역으로 다중홉 릴레이 네트워크(Multi-hop Relay Network)를 구성함으로써 VHF대역 통신범위의 한계를 극복하고, 릴레이 노드를 최소화 선정하여 장거리 대양항로에서 전파지연시간을 줄이면서 데이터 처리량을 향상하는 방안을 제안하였다. 제안하는 모델을 기존의 H. D. Tu의 Mobile Ad-hoc Network 모델과 비교하여 전파지연시간 및 데이터 처리량에서 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] www.boeing.com, "Current Market Outlook", Boeing Company, 2011.
- [2] 국토해양부, "제1차 항공정책기본계획(2010~2014)", 국토해양부, 2009.
- [3] 윤종호, "항공정보통신공학", 교학사, 2009.
- [4] H. D. Tu and S. Shimamoto, "Mobile Ad-Hoc Network Based Relaying Data System", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), pp. 33-44, vol. 1, no. 1, April 2009.
- [5] E. Sakhaee, A. Jamalipour, and N. Kato, "Aeronautical Ad Hoc Networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 246-251, 2006.
- [6] Jang, H. J., Noh, H. J., and Lim, J. S., "Airborne TDMA for High Throughput and Fast Weather Conditions Notification", International Journal of Computer Networks and Communications, pp. 206-220, 2011.
- [7] D. Medina, F. Hoffmann, S. Ayaz, and C. Rokitansky, "Feasibility of an Aeronautical Mobile Ad Hoc Network Over the North Atlantic Corridor", IEEE SECON, pp. 109-116, 2008.
- [8] D. Medina, F. Hoffmann, F. Rossetto, and C. Rokitansky, "A Geographic Routing Strategy for North Atlantic In-Flight Access Via Airborne Mesh Networking", IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 1-14, vol. PP, issue. 99, 2011.
- [9] 전향식, 김동민, 염찬홍, "차세대 항행시스템(CNS/ATM) 기술 동향 분석", 항공우주산업기술 동향 8권 2호, pp. 113-123, 2010.