論文

전송률 향상을 위한 거리정보 기반 VHF Data Link MAC 기법

장형준*, 장지녕**, 구자열**, 임재성***

Distance Based Aeronautical Communication TDMA MAC for Increasing Transmission Rate

Hyung-Jun Jang*, Ji-Nyoung Jang**, Ja-yeul Ku** and Jae-Sung Lim***

ABSTRACT

VDL(VHF Data Link) Mode E uses TDMA(Time Division Multiple Access) based aeronautical communication technologies for airborne environments. In the VDL Mode E, aircraft uses RR(Reservation Requests) slot to request data slot. However, RR needs a long guard time, since aircraft communication spans a considerable distance. The more number of aircrafts causes a larger amount of guard times which can make a throughput decreased. In this paper, we propose an enhanced MAC to reduce the guard time by using the distance information of aircraft. The ground station sends management data including time stamp. And then all aircraft can measure their distance from the ground station.

Key Words : Aeronautical Communication(항공 통신), TDMA(시분할 다중접속 기법), Distance Information(거리 정보), Guard Time(가드 타임)

1. 서 론

항공기의 대수가 증가하고 경비행기, 무인기 등 다양한 용도의 항공기의 등장에 따라 항공 트래픽의 양이 증가하고 있다. 이에 따라 향후 항공통신에서 증가되는 항공 트래픽을 보장하기 위해 전송률 증가 필요성이 제기 되고 있다[1]. 그러나 현재 항공통신은 VHF의 통달거리인 약

500km까지 전송되는 데이터의 충돌방지를 위해서 긴 시간의 가드타임을 붙여서 전송을 한다 [2][6]. 이러한 긴 전파 지연으로 인한 가드타임은 데이터 전송 시 마다 필요하므로 항공기 수 증가에 따른 트래픽 증가에 비례해 전송률을 감소시키는 원인이 된다[3]. 현재 개발된 VDL Mode 3, E 역시 데이터 충돌 방지를 위해 항공기가 지상 관제국으로 데이터 전송 시 마다 약 500km의 전송거리를 보장해주기 위해 1.7msec의 가드타임이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 거리 정보 획득을 통한 가드타임감소 방안을 제안한다. 제안 하는 방안은 VDL Mode E 프레임 구조를 기반으로 하며 프레임 시작 시에 지상관제국이 타임스탬프에 데이터 전송 시간을 찍어 항공기에게 전송한다. 타임 스탬프에 찍힌 시간

2012년 10월 15일 접수 ~ 2012년 12월 17일 심사완료
논문심사일 (2012.10.19, 1차), (2012.12.17, 2차)

* 정회원, 아주대학교 NCW학과 대학원

** 아주대학교 NCW학과 대학원

*** 아주대학교 TNRC

연락처, E-mail: jaslim@ajou.ac.kr

경기도 수원시 영통구 원천동

을 통해 각 항공기는 지상관제국까지의 거리 정보를 획득할 수 있다. 그리고 획득한 거리 정보를 통해 항공기가 지상 관제국에 데이터 전송 슬롯 예약을 위한 RR(Reservation Request) 메시지를 전송할 때 가드타임 없이 전송한다. 본 논문에서는 타임 스탬프 정보 전송으로 인한 오버헤드가 발생하지만 가드타임을 줄임으로써 얻게 되는 이득이 전송 소요시간과 전송률 측면에서 더 크다는 것을 모의실험을 통해 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 VDL Mode E의 MAC 프레임 구조와 제안하는 MAC 프레임 구조 및 운영방안에 대해서 설명하였으며 III장에서는 성능분석을 통하여 제안하는 방안과 VDL Mode E의 성능을 분석하고 마지막 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

2.1 VDL Mode E

VDL Mode E는 차세대 민간 항공통신으로 VDL Mode 2, 3 계열에서 진화하여 발전을 하였다. VDL Mode E는 유럽에서 증가되는 항공 트래픽 문제를 해결하기 위해 VDL Mode 3의 할당 대역폭을 줄이고 데이터 전송률을 15.75kbps로 줄여 더 많은 채널을 할당하는 방법으로 개발되었다.

VDL Mode E의 MAC 프레임 구조는 그림 1(a)와 같으며 모든 항공기에게 데이터 전송 기회를 공평하게 주기 위해 슬롯 요청 기회를 위한 RR구간을 할당한다. 전송할 데이터가 있는 항공기는 네트워크에 가입할 때 할당받은 RR 구간을 통해 자신의 정해진 순서에 슬롯을 요청하고, 다음 프레임의 상향링크 관리 구간에서 지상 관제국이 슬롯을 할당해주면 하향링크 데이터 구간에서 데이터를 지상 관제국에 전송한다. 전송할 데이터가 없는 항공기는 RR 구간에서 NULL 메시지를 보낸다.

VDL Mode E는 그림1(a)에서 보듯이 240msec의 고정된 프레임을 사용하고 한 프레임에는 10개의 항공기만이 RR 데이터를 보낸다. 예를 들어 50개의 항공기가 네트워크에 존재 하고 있을 때 총 5개의 프레임을 통해 RR 데이터를 보내고, 이 5개의 프레임을 1개의 Epoch라 명명한다. VDL Mode E에서는 RR 구간의 전송시작 시간이 고정되어 있으므로 지상 관제국은 각 항공기가 전송한 RR 데이터를 수신하여 도착시간을 계산해 항공기와 자신과의 거리를 측정할 수 있

다. 지상 관제국은 이 정보를 활용해 항공기의 핸드오버, 채널변경 등에 이용 한다[4].

그러나 VDL Mode E MAC 프레임은 RR 데이터 전송 시 항공통신의 전송범위인 265 nmi(약491km)까지 전송거리를 보장하고, 다른 항공기의 RR 데이터와의 충돌을 방지를 위해 약 1.7msec 가드타임을 추가해서 전송한다.

(a) VDL Mode E MAC 프레임 구조

(b) 제안하는 MAC 프레임 구조

그림 1. VDL Mode E 및 제안하는 MAC 프레임 구조

2.2 제안하는 방안

기존 VDL Mode E의 긴 가드타임으로 인해 발생하는 비효율 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 지상 관제국이 타임 스탬프에 데이터 전송 시작 시간을 포함해서 전송하고 항공기들은 이 정보를 통해 지상 관제국과 항공기 간의 거리를 측정하여 RR메시지 전송 시 가드타임을 제거하는 방안을 제안한다.

제안하는 방안의 Epoch의 운영은 그림2와 같이 Epoch 시작 시 첫 프레임은 기존의 VDL Mode E의 MAC 프레임으로 운영한다. 이러한 이유는 기존 VDL Mode 3처럼 지상 관제국이 각 항공기까지의 거리 측정이 가능하도록 하기 위해서이다. 두 번째 프레임부터 Epoch의 종료 프레임까지는 제안하는 그림 1(b)의 MAC 프레임을 통해 긴 전파 지연으로 인해 발생하는 가드타임을 줄여서 운용한다. 제안하는 방안의 각 구간은 다음과 같이 운영한다.

그림 2. 제안하는 방안의 Epoch 운영방안

- 상향링크 관리 구간

그림 1(b)에서 보듯이 상향링크 관리 구간에서 기존의 운영정보에 타임 스탬프 구간을 두어 전송 시작 시간을 찍어서 보낸다. 각 항공기와 지상관제국은 GPS를 통해 시간동기를 맞추고 있다면 모든 항공기는 프레임 시작 시간은 알고 있으므로 타임 스탬프를 통해 자신과 지상 관제국간의 거리 정보를 획득한다. 또한 나머지 상향링크 관리 구간은 VDL Mode E와 동일하게 운영한다.

- 상향링크 데이터 구간

상향링크 데이터 구간은 기존 VDL Mode E와 동일하게 관제소에서 항공기로 데이터 전송 시 사용한다. 제안하는 MAC 프레임에서는 RR구간의 가드타임이 감소하므로 상향링크 데이터 구간을 추가적으로 더 할당해서 전체 프레임 크기를 240msec으로 고정한다[5].

- RR 구간

각 항공기는 상향링크 관리 구간에서 자신과 지상 관제국과의 거리정보를 타임 스탬프를 통해 얻을 수 있기 때문에 자신과 지상 관제국까지의 거리 정보를 획득한다. 각 항공기는 기존 네트워크 가입 시 할당 받은 자신의 RR 구간에서 RR 메시지를 전송하며 방법은 그림 3과 같다. 첫 번째 항공기는 지상에서 항공기로 전송되는 상향링크 데이터 전송 구간이 완료되는 시점에 RR이 도달할 수 있도록 RR을 전송한다. 두 번째 항공기는 첫 번째 항공기의 RR이 도착한 이후 항공기의 이동오차를 방지하기 위한 위치 오차 가드타임을 포함한 자신의 RR전송 시작 시간을 계산하여 RR을 전송한다. 각 항공기의 RR 전송 시작 시간은 다음 단원의 식을 통해 계산한다.

그림 3. 제안하는 방안의 각 항공기 RR메시지 전송과 도착 방안

1) 첫 번째 항공기 RR 데이터 전송시간

그림 3에서 1번 항공기 AC_1 의 RR 데이터 도착시간 At_1 은 상향링크 데이터의 전송을 보장하기 위한 가드타임과 자신의 Transmission Time을 더한 시간 이후에 도착하면 되므로 다음 식 (1)을 통해 구할 수 있다.

$$At_1 = gt_{up} + t_t \quad (1)$$

gt_{up} 는 상향링크 데이터의 500km까지 전송을 보장하기 위한 가드타임이고 t_t 는 RR 데이터 Transmission Time이다.

1번 항공기의 RR 데이터가 지상 관제국에 도착시간 At_1 에 도착하려면 At_1 에서 Propagation Delay와 자신의 RR 데이터 Transmission time을 빼주면 된다. 그러므로 RR 데이터 전송 시작 시간 Dt_1 을 식 (2)처럼 계산 한다.

$$\begin{aligned} Dt_1 &= At_1 - (t_{p_1} + t_t) \\ &= gt_{up} - t_{p_1} \end{aligned} \quad (2)$$

t_{p_1} 는 1번 항공기의 Propagation Delay이다.

2) 두 번째 항공기 RR 데이터 전송시간

AC_2 의 항공기 RR데이터가 지상 관제국에 도착 시간 At_2 는 항공기의 이동에 따른 위치 오차를 포함해서 식 (3)과 같이 계산한다.

$$At_2 = gt_{up} + 2t_t + gt_{lerr} \quad (3)$$

gt_{lerr} 는 항공기의 이동에 따른 위치 오차이며 식 (4)를 통해 구한다.

$$gt_{lerr} = \frac{v_{ac} \times T_{frame} \times N_{frame}}{c} \quad (4)$$

v_{ac} 는 항공기의 속도이고 T_{frame} 은 프레임 길이이며 N_{frame} 은 1 Epoch의 프레임 수이다.

식 (2)의 계산처럼 AC_2 의 RR 데이터 전송시간 Dt_2 를 계산 하면 식 (5)와 같다.

$$Dt_2 = gt_{up} + t_t + gt_{lerr} - t_{p_2} \quad (5)$$

3) n 번째 항공기 RR전송시간

이를 n 개의 항공기로 일반화하면 n 번째 항공기 RR 데이터 전송 시작 시간 Dt_n 은 식 (6)과 같다.

$$Dt_n = gt_{up} + (n-1)(t_t + gt_{lerr}) - t_{p_n} \quad (6)$$

각 항공기는 식 (6)을 통해 자신의 RR 데이터 전송 시작 시간을 계산하여 전송하여 기존의 VDL Mode E에서 RR 데이터 전송 시 마다 필요했던 가드타임을 제거할 수 있다.

III. 성능분석

제안하는 방안의 성능은 현재 운용되고 있는 차세대 민간 항공통신 표준인 VDL Mode E, VDL Mode 3와 지상 관제국에서 발생한 데이터 전송 완료시까지 소요되는 시간과 0.24초 동안 발생한 데이터가 이 시간 동안의 프레임 내에서 처리되는 비율을 비교하였다. 제안하는 방안이 MAC 프레임 구간 중에 기존 VDL Mode E와 하향링크 데이터 구간은 동일하고 VDL Mode E의 RR 가드타임을 감소되는 만큼 상향링크 데이터 구간을 늘려서 지상 관제국에게 더 많은 전송 시간을 할당해 주었으므로 지상 관제국에서의 Uplink Data 구간 전송률을 비교하였다. 모의실험은 Matlab Tool을 사용하였으며, 모의실험 요소는 표 I과 같다.

TABLE I : 모의 실험 요소

요소	값
전송률	15.75Kbps (VDL Mode E), 31.5Kbps(VDL Mode 3)
항공기 수	10 ~ 70
프레임 크기	240 msec
시뮬레이션 시간	100 프레임
트래픽 발생	Application Traffic Model[4]

그림 4. 제안하는 MAC(15.75kbps, 31.5kbps)과 VDL Mode 3, VDL Mode E의 전송 소요 시간 비교

그림 4에서 보듯이 항공기수가 50개 이상일 때 지상 관제국에서 데이터 전송에 필요한 소요 시간이 급격히 증가함을 알 수 있다. 그러므로 네트워크의 항공기수를 50개 이하로 운영하면 전송 시 요구되는 시간을 50초 이내로 줄일 수 있다. 또한 제안하는 방안이 VDL Mode 3에서처럼 데이터 전송률이 31.5kbps일 때 전송 시간이 가장 적게 소요되고, VDL Mode E가 데이터 전송에 가장 많은 시간이 소요됨을 확인할 수 있다.

그림 5에서는 0.24초 동안의 시뮬레이션 시간 동안 발생한 데이터를 0.24초 즉 100개(240msec × 100)의 프레임에서 처리되는 비율을 비교하였다. 그래프에서 보듯이 제안하는 방안의 데이터 전송률 31.5kbps에서 가장 높은 데이터 전송률을 보이며 VDL Mode E가 가장 낮은 데이터 전송

를 보임을 알 수 있다. 또한 항공기 수가 50 개 이상이 되면 데이터 전송률이 0에 근접함을 알 수 있다.

그림 5. 제안하는 MAC(15.75kbps, 31.5kbps), VDL Mode 3, VDL Mode E의 데이터 전송률 비교

IV. 결론

항공통신은 장거리 전송 특성상 데이터 전송 시 마다 긴 가드타임을 첨부하여 전송하여야 한다. 이러한 가드타임은 항공기의 대수가 증가와 비례하여 증가한다. 향후 항공기의 대수가 급격하게 증가할 것으로 예상되므로 가드타임 문제 해결 필요성이 증가되고 있다. 그러므로 본 논문에서는 거리정보를 활용하여 가드타임을 없애는 방안을 제안하였다. 제안하는 기법은 지상 관제국이 Management정보를 항공기에게 전송 시 자신이 전송한 시간을 타임 스탬프에 포함하고 항공기들은 이 정보를 통해 자신과 지상 관제국의 거리 정보를 획득한다. 그리고 자신의 데이터 전송 차례 시 지상 관제국에서 데이터가 충돌하지 않도록 시간을 계산하여 전송한다. 이러한 방법을 통해 제안하는 방안에서는 가드타임을 없앨 수 있다. 또한 Epoch 운영 시 첫 MAC 프레임에서는 기존의 VDL Mode E와 동일한 MAC 프레임을 운용해 기존의 VDL Mode E의 지상 관제국이 획득했던 항공기까지 거리정보를 제안하는 MAC에서도 획득할 수 있다. 제안하는 방안을 기존의 VDL Mode E, VDL Mode 3, 제안하는 방안이 VDL Mode 3와 동일한 데이터 전송률일 때의 4가지 방안을 지상관제국에서 항공기로 데

이터 전송에 필요한 시간과 전송률을 비교하여 더 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2012-(H0301-12-2003))

참고문헌

- [1] Schnell, M. and Scalise, S., "NEWSKY - Concept for networking the sky for civil aeronautical communications," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, May 2007, pp.25~29.
- [2] 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, May 2011, pp.206~220.
- [3] Jang, H. J., KIM, E. K., LEE, J. J., and Lim, J. S., "Location-Based TDMA MAC for Reliable Aeronautical Communications," IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 48, April 2012, pp.1848~1854.
- [4] Studenberg, F., "The Capacity and Performance of a CPDLC System Using VDL mode E," In Proceedings of the IEEE Digital Avionics Systems Conference (DASC), Vol. 1, 2005, pp.1.B.4 - 1.1-9.
- [5] Medina, D., Hoffmann, F., Rossetto, F., and Rokitansky, C.-H., "A Geographic Routing Strategy for North Atlantic In-Flight Internet Access Via Airborne Mesh Networking," IEEE/ACM Transactions, Vol. 20, 2011, pp. 1231~1244.
- [6] Ho Dac Tu and Shigeru Shimamoto, "Mobile Ad-Hoc Network Based Relaying Data System," International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol. 1, No.1, April 2009.