

항공이동통신환경에서 항공교통량에 따른 우선순위 할당 알고리즘에 관한 연구

A Study on Priority Allocation Algorithm According to Air Traffic in Aeronautical Communication Environment

조윤현*
(Yun-Hyun Jo)

김용균**
(Yong-Kyun Kim)

김상욱**
(Sang-Uk Kim)

박효달***
(Hyo-Dal Park)

요약

최근 항공교통량의 증가에 따라 보다 효율적인 항공교통흐름제어가 요구되고 있다. 이에 본 논문에서는 효율적인 항공교통흐름제어를 위한 알고리즘을 제안하였다. 항공통신 환경은 일반 통신 환경과는 다르게 스테이션(항공기) 사이에 직접적인 통신 기능이 필요하며, 안전성을 위한 메시지의 우선순위가 매우 엄격하게 요구된다. 게다가 넓은 서비스 지역은 높은 전파지연을 발생시킨다. 본 논문에서는 기존의 CSMA/CA 매체접속제어(MAC) 프로토콜을 사용하여 항공교통상황(혼잡 공항 지역, 접근관제구역, En route구역, 대양 항행)에 따라 메시지 우선순위를 설정하고, 이러한 우선순위가 높은 메시지가 보다 더 높은 접속 확률을 갖고 데이터를 전송하도록 하였다. 항공기 대수에 따른 시뮬레이션 결과, 교통량이 증가할수록 기존 방식보다 더 높은 채널 사용 효율 및 전송확률을 가짐을 확인하였다.

Abstract

According to the recent increase in air traffic a more efficient air traffic flow control is required. This paper proposes the algorithm for efficient air traffic flow control. Aeronautical communication environment is different from the common communication environment since it needs a direct communication between stations (or airplanes) and requires a strict priority for safety message. Moreover, the wide area for basic service causes high propagation delay. In this paper, by using existing CSMA/CA Media Access Control (MAC) protocol, we set the message priorities according to air traffic condition (congestion airport area, approach control area, En route area, and ocean area). This prioritization scheme enables the data transmission with higher access probability. Simulation results confirm that our protocol shows better performance in terms of channel efficiency and success probability compared to existing CSMA/CA protocol.

Key words: ATM, CSMA/CA, MAC, DCF, backoff

† 본 연구는 국토해양부 항공선진화사업의 연구비지원(과제번호# 07항공-항행-03)에 의해 수행되었습니다.

† 본 연구는 2009년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

* 주저자 : 인하대학교 전자공학과 박사과정

** 공저자 : 인하대학교 전자공학과 박사과정

*** 공저자 및 교신저자 : 인하대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 12월 29일

† 논문심사일 : 2010년 2월 5일(1차), 2010년 2월 19일(2차)

† 게재확정일 : 2010년 2월 22일

I. 서 론

항공이동통신이란 항공기의 비행 준비 단계에서 목적지 도착까지 안전하고 효율적이며 보다 경제적인 운항을 위해 항공기와 지상시설, 지상시설과 지상시설, 항공기와 항공기 사이의 다양한 정보를 교환하는 것을 뜻한다. 이러한 항공이동통신은 통신 분야는 물론이고 항법, 관제 및 항공 교통관리 분야 등 CNS/ATM(Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management) 전 분야에서 공통적으로 사용되는 기본 통신망이다. 현재 세계적으로 항공교통량은 지속적으로 증가되고 있으며, 감시와 통신 커버리지의 결핍으로 항공기는 항로와 분리된 공역을 이용하여 비행을 하여야만 하며, 이는 연료와 스케줄링의 관점에서 상당히 비효율적이다. 이러한 비효율성은 연간 1조원 이상의 손실을 항공사에 가져다 준다. 증가하는 항공 교통량의 해소를 위해 ICAO(International Civil Aviation Organization, 국제민간항공기구)에서는 FANS(Future Air Navigation System) 특별위원회를 설치하여 새로운 개념의 항행시스템인 CNS/ATM을 연구하기 시작하였다.

따라서 본 논문에서는 항공교통량이 증가하여도 안전하고 효율적인 정보 교환을 위하여 CSMA/CA에서 데이터 전송시에 부하에 따른 경쟁 기반 채널 접근 방식인 DCF를 변화시켜 4종류의 사용자 우선순위를 가지는 프레임에 대해서 차별화된 매체 접근을 허용하는 방식을 사용하여, 혼잡 공항 지역과 접근 관제구역, En route구역, 대양 항행 등 4종류의 비행 상황에 대하여 동적으로 DCF를 변화시켜 채널 접근을 하는 알고리즘에 관하여 연구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 항공이동통신에 사용되는 802.11 CSMA/CA의 MAC에 관하여 설명하고, 제 III장에서는 우선순위를 갖는 알고리즘을 제안하고 제안된 알고리즘에 대해 항공기 대수에 따른 전송량 및 패킷경쟁 지연시간에 관하여 시뮬레이션을 통해 성능분석을 하였다. 마지막으로 IV장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

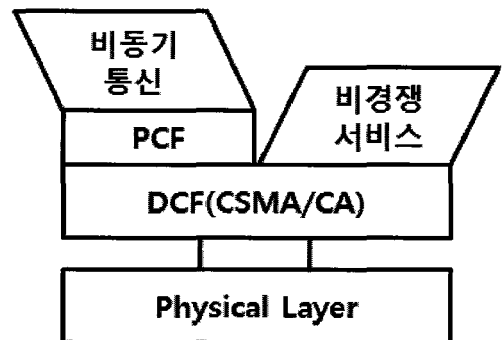
II. CSMA/CA 매체접근제어 방식

CSMA/CA는 무선랜에서 일반적으로 사용되는 MAC 알고리즘으로써 “listen before talk”라고 하는데, 자동적인 매체 공유를 가능토록 해주는 기본적인 매체접속 프로토콜이다. 네트워크의 데이터 전송이 없는 경우라도 충돌을 대비하여 확인을 위한 신호를 전송한다. 확인 신호가 충돌 없이 전송된 것을 확인하면 이어서 데이터를 보내게 된다.

무선 매체에 대한 접근은 조정 함수를 이용하며, 이더넷과 같은 CSMA/CA 접근은 분산 조정함수에 의해 제공된다. IEEE 802.11 CSMA/CA 프로토콜의 MAC 조정 함수는 <그림 1>에 나타나 있다.

CSMA 프로토콜에서 하나 이상의 항공기가 동시에 전송을 시도할 때 충돌이 발생하게 되는데 일반적으로 충돌이 발생하는 확률분포는 한 항공기에서 패킷 전송이 완료된 직후에 가장 많이 발생하게 된다. 따라서 한 번 충돌한 패킷의 계속적인 충돌을 막기 위한 방식으로 비지속형 CSMA, 1-지속형 CSMA, p-지속형 CSMA 방식이 있으며, 현재 항공용 이동통신에서는 ARINC 628에 정의되어 있는 바와 같이 비지속형 CSMA를 사용한다. 본 논문에서는 일반적인 CSMA/CA에서 사용하는 스테이션이라는 용어를 항공환경에 맞추어 항공기로 대신하여 기술하였다.

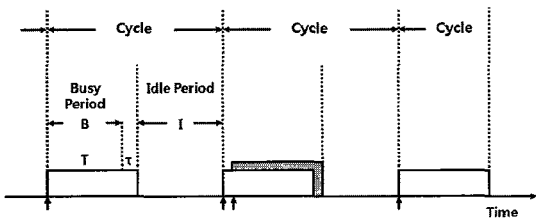
시간제한 서비스



<그림 1> MAC 조정 함수
<Fig. 1> MAC Coordinate Function

1. 비지속형 CSMA(Nonpersistent CSMA)

비지속형 CSMA는 항공기가 계속해서 캐리어를 감지할 필요 없이 패킷 전송 이전에 캐리어를 확인하여 채널이 idle 상태이면 패킷을 전송한다. 그러나 채널이 busy 상태이면 패킷 충돌 가능성을 줄이기 위해 임의의 패킷 전송 시간만큼 지연시킨다. 지연 시간 경과 후 다시 채널을 감지해보고 idle상태이면 패킷을 전송하게 된다. <그림 2>에 비지속형 CSMA에서의 전송 방식을 나타내었다 [1].



<그림 2> 비지속형 CSMA 시간 주기 구조
 <Fig. 2> Structure of Non-persistent CSMA time period

B를 평균 전송기간, T를 평균 idle 기간, U를 전송 기간 내에서 패킷이 성공적으로 전송된 평균기간이라고 할 때 비지속형 CSMA방식의 채널 효율은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$S = \frac{U}{B+I} = \frac{T e^{-g\tau}}{T + 2\tau - \frac{1 - e^{-g\tau}}{g} + \frac{1}{g}} \tag{1}$$

$$= \frac{g T e^{-g\tau}}{g(T + 2\tau) + e^{-g\tau}}$$

식 (1)에서 T는 한 개의 패킷을 전송하는데 소요 되는 시간을, τ는 최대 전파 지연시간을 나타내며, 초당 g개의 패킷을 발생시키는 프와송 프로세스를 따른다고 가정하였다.

식 (1)을 $G=gT$ 의 패킷 전송시간으로 정규화하면 다음과 같은 식 (2)를 얻을 수 있다.

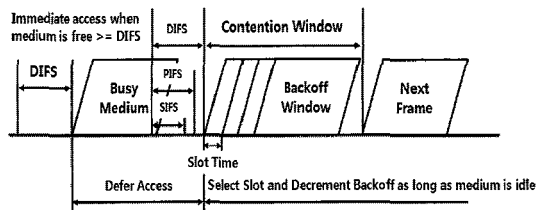
$$S = \frac{G e^{-aG}}{G(1+2A) + e^{-aG}} \tag{2}$$

식 (2)에서 a는 정규화된 전파 지연시간을, G는

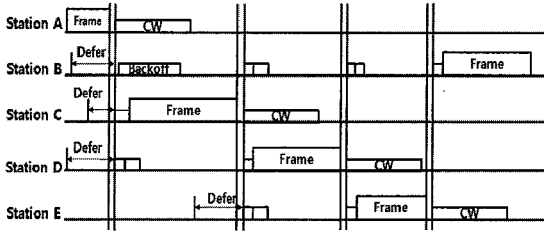
한 슬롯 기간에서의 평균트래픽으로 전송준비가 완료된 항공기의 수를 나타낸다.

2. 분산 조정 기능(DCF)

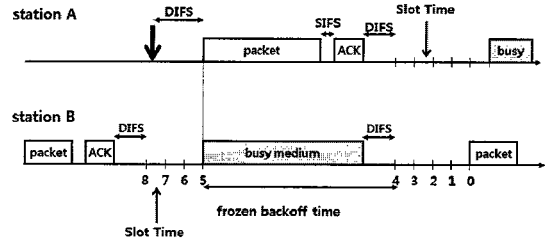
DCF는 IEEE 802.11 MAC의 기본적인 매체 접근 방식으로서, CSMA/CA의 기본이 된다. CSMA/CA 프로토콜은 거의 모든 항공기들이 접속을 시도하는 시점에서 매체를 접속하기 위한 여러 항공기들 사이의 충돌 확률을 감소시키도록 설계되었다. DCF 서비스는 4가지 IFS를 검출함으로써 채널의 사용 유무를 점검한다. 각각의 간격은 트래픽 유형마다 다른 우선권 수준을 제공하며 <그림 3>과 같다. <그림 3>에서 보는바와 같이 busy medium 종료 후 DIFS 동안 매체가 idle 상태이면, random backoff time을 생성하여 매체에 대한 접근을 연기한다. 매체에 대한 접근을 연기한 항공기들은 매체의 상태를 확인하면서 동시에 자신의 random backoff time을 감소시켜 나간다. 만약 한 항공기의 backoff time이 0이 될 때까지 매체가 idle 상태이면 그 항공기는 매체에 접근하게 되고, 0이 되기 전에 매체를 다른 항공기가 사용하게 되면 backoff time을 줄이는 것을 멈추고 다음 DIFS 후에, 남아있는 backoff time을 사용한다. 따라서, 이 항공기는 처음 random backoff time을 생성한 단말보다 더 작은 backoff time을 가지게 될 확률이 높으므로 매체에 접근할 가능성 또한 높아지게 된다. 그러다가 backoff 시간이 0이 되면 패킷을 전송하게 되며, ACK을 통해 패킷 전송에 대한 성공여부를 결정한다. 패킷이 성공적으로 전송 되었을 경우 CW 값을 CW_{min} 값으로 감소시키며 충돌로 감지했을 경우 CW 값을 2배로 증가시킨다. <그림 4>는 이러한 backoff



<그림 3> IFS 및 채널 특성
 <Fig. 3> IFS and Channel Characteristics



<그림 4> backoff 절차의 예
<Fig. 4> Example of Backoff process



<그림 5> 기본적인 채널 접근 방법의 예
<Fig. 5> Example of basic access mechanism

의 절차를 보여주고 있다.

각 IFS에 대한 설명은 다음과 같다. SIFS는 RTS/CTS 프레임이나 ACK 및 분할된 MAC 서비스 데이터 유닛의 데이터 프레임과 같은 최고 우선권을 가진 프레임의 전송을 위하여 사용된다. PIFS는 무경쟁 서비스에 사용되며 다른 경쟁 기반의 트래픽보다 우선권을 가진다. DIFS는 경쟁 기반의 서비스를 제공하며 최소의 매체 비사용 시간이다. DCF에 기반을 둔 데이터와 관리 프레임의 전송에 사용된다. DIFS의 값은 다음 식 (3)과 같다.

$$DIFS = SIFS + 2 \times Slot\ Time \quad (3)$$

마지막으로 EIFS는 고정된 간격이 아니며 프레임 전송에 오류가 발생하는 경우 및 MAC 계층의 CRC 에러 검출 시에 사용된다.

3. IEEE 802.11 DCF 처리량 분석

본 절에서는 기본적인 IEEE 802.11 DCF의 포화상태에서의 패킷 전송 확률과 전송량을 분석한다 [1-3]. 각 채널은 이상적인 조건(hidden terminal이 없�)이며, 항공기의 대수는 고정된 값으로 가정하고, 각 패킷은 항상 전송될 준비가 되어 있다고 가정한다.

1) 패킷 전송 확률

서로 경쟁하는 n대의 항공기를 고려하였을 때, 포화상태에서 각 항공기는 다른 항공기에서 전송이 성공적으로 끝난 후, 각자 새로운 패킷전송을 시도한다. 전송이 끝난 후에 모든 항공기는 다시 패킷 전송을 하기 위해 경쟁상태가 되며, 다음 전송을 위해

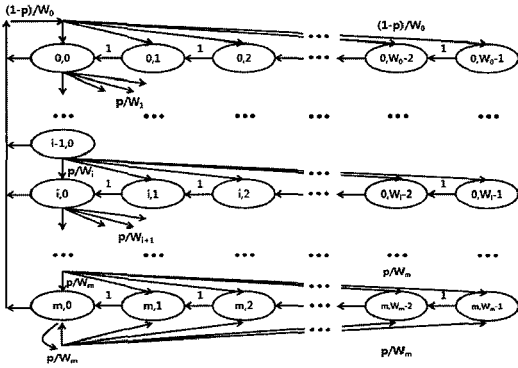
random backoff time 동안 대기하게 된다. <그림 5>에서 보는바와 같이 채널이 busy로 감지되면 backoff time 감소는 중단되며 두 개의 경쟁하는 슬롯의 시작 시간인 t와 t+1의 차이는 슬롯시간 크기 σ 보다 더 크다. 여기서 σ 는 패킷 전송 시간을 포함한다.

편의를 위해 $W = CW_{min}$ 이라고 정의하며, m을 "maximum backoff stage"라 하면, $CW_{max} = 2^m W$ 로 나타낼 수 있다. 그리고 $i \in (0, m)$ 를 backoff stage로 정의하며 각 backoff stage에서 $W_i = 2^i W$ 와 같이 나타낸다. p는 단말이 패킷을 전송할 경우 다른 단말에 의해서 충돌할 확률을 나타내며, 각각의 패킷은 서로 독립적이고 일정한 값을 갖는다고 가정한다.

<그림 6>에서 표현된 discrete-time Markov chain은 bidimensional process $\{s(t), b(t)\}$ 로 나타낼 수 있으며, 이 Markov chain에서 한 스텝 이동 확률을 식(4)와 같이 나타낸다.

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in (0, W_i - 2) \\ & i \in (0, m) \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) \\ & i \in (0, m) \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i & k \in (0, W_i - 1) \\ & i \in (1, m) \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m & k \in (0, W_m - 1). \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)의 첫 번째 식은 각 슬롯의 시작단계에서 backoff time이 감소하는 것을 의미한다. 두 번째 식은 이 전 전송이 성공한 후 새로운 패킷을 전송하는 단계이며, 초기 backoff 값은 $(0, W_0 - 1)$ 에서 임의의 값을 선택하게 된다. 만약 $i-1$ stage에서 전송이 실패한 경우 세 번째 식과 같이 $(0, W_i)$ 의 범위에서 초기 backoff 값을 선택하게 된다. 마지막으로 네 번째



<그림 6> 마르코프 절차의 예

<Fig. 6> Example of Markov Process

식은 backoff stage 값이 m까지 증가한 경우 다음 패킷 전송에서는 더 이상 값이 증가하지 않음을 의미한다.

구간 $i \in (0, m)$, $k \in (0, W_i - 1)$ 에서 Markov chain의 극한 확률은 식 (5)와 같으며 임의의 시간에 각 stage에 있을 확률은 식 (6)과 같다.

$$b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} \{s(t) = i, b(t) = k\} \quad (5)$$

$$b_{i-1,0} \cdot p = b_{i,0} \rightarrow b_{i,0} = p^i b_{0,0} \quad 0 < i < m \quad (6)$$

$$b_{m-1,0} \cdot p = (1-p)b_{m,0} \rightarrow b_{m,0} = \frac{p^m}{1-p} b_{0,0} .$$

체인 룰에 따라 $k \in (1, W_i - 1)$ 에서 $b_{i,k}$ 는 다음 식 (7)과 같다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \cdot \begin{cases} (1-P) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i = 0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot b_{m-1,0} + b_{m,0} & i = m \end{cases} \quad (7)$$

식 (5)와 $\sum_{i=0}^m b_{i,0} = b_{0,0}/(1-p)$ 를 이용하여 식 (7)를 다시 정리하면 다음 식 (8)과 같다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m), \quad k \in (0, W_i - 1) \quad (8)$$

임의의 시간 t에서 극한 확률 $b_{i,k}$ 를 $b_{0,0}$ 로 나타낼

수 있으므로 모든 구간에서의 확률의 합이 1임을 이용하여 $b_{0,0}$ 를 구하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{W_i + 1}{2} \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) \frac{1}{1-p} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (10)$$

임의의 슬롯을 선택했을 경우 한 항공기가 패킷을 전송할 확률 τ 은 backoff 윈도우가 0일 확률과 같게 되며 식 (10)을 정리하여 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} \\ &= \frac{2(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \end{aligned} \quad (11)$$

또한 일반적인 패킷 충돌확률 p 는 $1 - (1-\tau)^{n-1}$ 과 같으며, 이를 τ 에 관한 식으로 나타내면 $\tau^*(p) = 1 - (1-p)^{1/(n-1)}$ 과 같이 나타낼 수 있다.

2) 처리량

처리량 S 를 계산하기 위해서 임의의 slot 시간에 최소한 하나 이상의 항공기가 패킷을 전송할 확률을 P_{tr} , 하나 이상의 항공기가 패킷을 전송할 조건에서 성공적으로 패킷을 전송할 확률을 P_s 로 정의한다. P_{tr}, P_s 의 값을 구하면 식 (12), (13)과 같다 [4,5].

$$P_{tr} = 1 - (1-\tau)^n \quad (12)$$

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1 - (1-\tau)^n} \quad (13)$$

따라서 평균 payload 크기를 ρ 라고 하면 성공적으로 전송하는데 소요되는 slot 시간의 평균은 $P_{tr} P_s \rho$ 로 나타낼 수 있다. T_s 는 패킷을 성공적으로 전송하는데 소요되는 평균 시간이며, T_c 는 패킷

충돌에 의해서 낭비되는 평균 시간을 나타낸다. 위의 식을 정리하면 처리량 S 는 식 (14)와 같다.

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1-p_{tr})\sigma P_s P_{tr} T_s + P_{tr}(1-P_s)T_c} \quad (14)$$

III. 제안 알고리즘에 대한 시뮬레이션 및 성능 분석

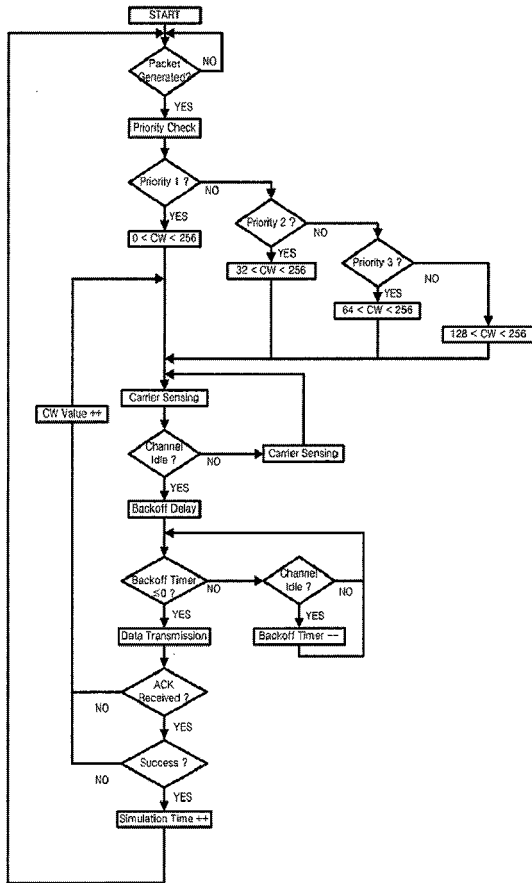
III장에서는 서론에서 언급한 항공용 데이터 전송 시에 부하에 따른 경쟁 기반 채널 접근 방식인 DCF를 변화시켜 4종류의 사용자 우선순위를 가지는 프레임에 대해서 차별화된 매체 접근을 허용하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안된 알고리즘으로 항공기 대수에 따른 전송량 및 패킷경쟁 지연시간에 관하여 시뮬레이션을 수행하였고 수행결과를 통해 성능분석을 하였다.

1. 우선순위 할당 알고리즘

본 논문에서 제안하는 우선순위의 할당은 항공환경에 맞추어 혼잡한 공항 지역과 접근관계구역, En-Route 구역, 대양 항행으로 나누어 우선순위 기법을 각각 다르게 적용 하였다. 이렇게 구역을 다르게 한 이유는 항공기가 밀집한 통신이 빈번하게 발생하는 혼잡한 공항 지역, 접근관계 구역에 En-Route 구역, 대양 항행 지역보다 우선순위를 더 높게 할당함으로써 통신의 효율성을 높이기 위함이다.

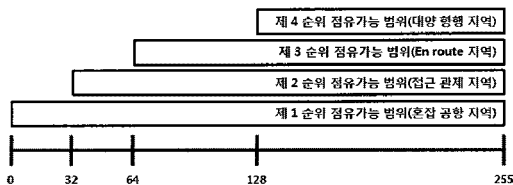
앞에서 언급된 바와 같이 기존의 CSMA/CA는 각 항공기 간의 충돌을 줄이기 위해서 랜덤 backoff 지연시간을 사용하고 있다. 두 대 이상의 항공기에 의해 데이터 전송시 충돌이 발생하게 되면 재전송을 하게 되며, 충돌 확률을 줄이기 위해서 backoff 경쟁 구간을 동일하게 2배로 증가한 후에 임의의 경쟁 윈도우를 선택하며 이에 따른 새로운 backoff 지연시간을 계산하게 된다. 그리고 전송이 성공하게 되면 backoff 경쟁 구간의 범위는 CW_{min} 값을 갖게 된다.

이와 같은 기존의 backoff 지연시간 계산 방법은 모든 항공이동통신 메시지를 동시에 송, 수신하게



<그림 7> 우선순위 할당 알고리즘 순서도
 <Fig. 7> The flow chart of priority allocation algorithm

됨으로써 혼잡한 지역인 공항 지역에서는 메시지 전송이 제때 이루어지지 않는 등의 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 각 구역별로 메시지의 우선순위를 설정하고 메시지의 우선순위에 따라 4가지의 서로 다른 경쟁 슬롯시간을 갖게 하여 긴급 메시지에 대한 충돌 위험



<그림 8> 우선순위에 따른 CW의 점유가능 범위
 <Fig. 8> The scope of CW occupied region according to priorities

을 줄임으로써 항공교통 흐름의 효율을 높일 수 있는 방법을 제안한다.

각각의 항공환경에 맞는 우선순위 할당을 위한 backoff 알고리즘 절차는 다음과 같다.

단계 1. 패킷 발생시 패킷의 우선순위 부여

단계 2. 채널을 감지하여 idle 상태인 경우 우선순위에 따라 backoff 경쟁구간을 달리하여 패킷을 전송

- 1순위 : 항공기가 밀집한 혼잡한 공항 지역

$$0 < CW \text{ value} < 256$$

- 2순위 : 항공기가 이륙 후 En route에 다다르기 전까지의 접근관제 구역

$$32 < CW \text{ value} < 256$$

- 3순위 : 고고도 순항 항로인 En route 지역

$$64 < CW \text{ value} < 256$$

- 4순위 : 대륙을 벗어난 LOS(Line of Sight)의 대양 해양 지역

$$128 < CW \text{ value} < 256$$

단계 3-1. 채널 상태가 busy인 경우 backoff 지연 유지

단계 3-2. 채널 상태가 idle인 경우 backoff 지연을 감소

단계 4. backoff 지연이 0인 경우, 패킷 전송

단계 5. 에러 발생시, CW를 2배로 증가하여 재전송 절차 수행

지금까지 기술한 바와 같이 우선순위 할당 알고리즘은 항공기의 밀집도가 높아 통신이 더 빈번하게 발생하는 공항 지역에 우선순위를 가장 높게 할당하고 CW 값의 범위를 가장 넓게 함으로써 혼잡한 환경일수록 데이터 전송을 먼저 할 수 있도록 하여 통신 효율을 높였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 <그림 7>과 같은 순서로 진행된다. 그리고 각각의 우선순위에 대한 CW의 점유 영역은 <그림 8>과 같다.

2. 우선순위 할당 알고리즘 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 우선순위 할당 기법의 효율을 알아보기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

2차원 마르코프 체인은 전송에 참여하는 각 항공기들의 상태를 backoff 알고리즘에 의한 큐잉 모델로

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

<Table 1> Simulation Parameter

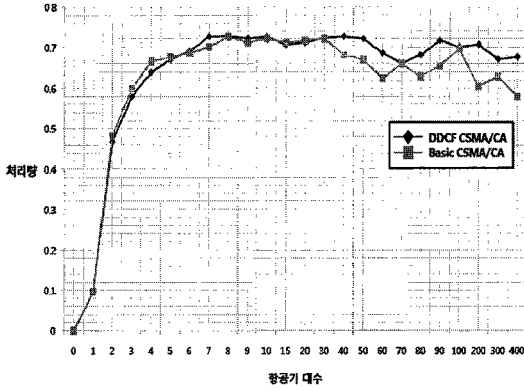
파라미터	설정값
전송 속도	31.5kbps(BW: 25kHz)
적용 범위	200NM
전파 지연	1.2ms
Slot Time	2.4ms
SIFS Time	1.2ms
PIFS Time	3.6ms
DIFS Time	6.0ms
재전송 지연	6.0ms
ACK Length	15 bytes
Sensing/channel error	10-8
패킷 발생 프로세서	Bernoulli Process
최대 재전송 횟수	5회

나타내어 전체 항공기에 대한 확률해석을 수행하고, 전송 확률 및 전송 성공에 따른 평균 시간과 전송 실패에 따른 평균 시간을 구하여 최대 포화 처리량을 구한 후 시뮬레이션 수행을 위해 항공이동통신에 맞는 모의 환경을 구성하여 실험하였다. 채널 대역폭은 25kHz, 전송속도는 31.5kbps, 전송에 사용될 데이터 길이는 ARINC 표준 200바이트, 최대 재전송 횟수는 5회로 하였으며, 패킷 발생은 각 항공기마다 독립적이기 때문에 베르누이 프로세스를 이용하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값은 <표 1>과 같다. 시뮬레이션 결과분석에서 채널의 BER 및 채널 감지 에러는 10-8으로 무시할 수 있는 값으로 설정하였다. 모든 파라미터는 IEEE802.11 무선통신 표준 안과 항공 통신환경을 참고하여 설정하였다.

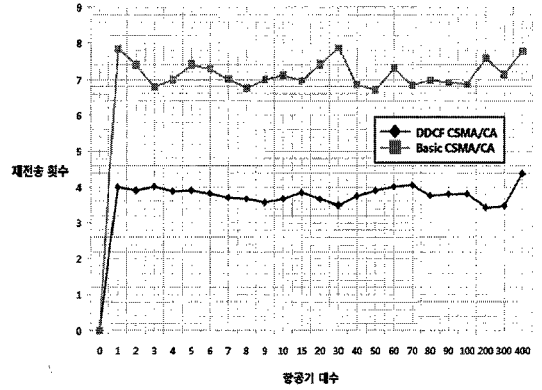
3. 우선순위 할당 알고리즘 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 항공기 대수에 따른 기존의 CSMA/CA 알고리즘과 우선순위 할당 알고리즘의 처리량, 지연시간, 재전송 횟수의 결과를 비교하고 분석한다.

<그림 9>는 항공기 대수에 따른 항공용 데이터 처리량에 관한 비교 그림이다. 그림에서 보는데와 같이 항공기 대수가 약 30대까지는 기존의 CSMA/



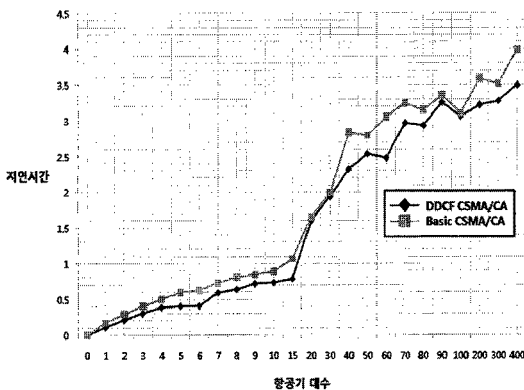
<그림 9> 처리량 비교
<Fig. 9> The Comparison of Throughput



<그림 11> 재전송 횟수 비교
<Fig. 11> The Comparison of re-transmission

CA알고리즘과 우선순위 할당 CSMA/CA 알고리즘의 처리량이 비슷한 양상을 띠지만 항공기 대수가 30대가 넘어서면서 차이를 보이고 있다. 이는 혼잡한 지역인 공항 인근지역에서 보다 효율적인 데이터 통신을 수행할 수 있다는 것을 보여준다. 이러한 결과는 지연시간을 비교한 그림인 <그림 10>에서도 비슷한 결과를 보인다. 그림에서 보는바와 같이 항공기 대수가 약 30대 까지는 우선순위 할당 CSMA/CA 알고리즘의 지연시간이 조금 낮지만 30대를 넘어서면서 지연시간을 더 줄이는 결과를 보인다는 것을 확인할 수 있다.

<그림 11>은 항공기 대수에 따른 항공용 데이터



<그림 10> 평균지연시간 비교
<Fig. 10> The Comparison of average delay

재전송 횟수를 비교한 그림이다. 이는 그림에서 확연히 드러나는 것처럼 본 논문에서 제안하는 우선순위 할당 CSMA/CA 알고리즘이 기존의 CSMA/CA 알고리즘보다 재전송 횟수가 확실히 줄어들었으므로 보다 효율적인 항공이동통신을 수행할 수 있다는 것을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공 이동 통신에서 채널을 효과적으로 사용하기 위하여 802.11 무선 LAN 분야의 표준인 CSMA/CA를 적용하였다. 안전하고 효율적인 정보 교환을 위하여 CSMA/CA에서 데이터 전송시에 부하에 따른 경쟁 기반 채널 접근 방식인 DCF를 변화시켜 4종류의 사용자 우선순위를 가지는 프레임에 대해서 차별화된 매체 접근을 허용하는 방식을 사용하여, 혼잡 공항 지역과 접근관계구역, En route구역, 대양 항행 등 4종류의 비행 상황에 대하여 동적으로 DCF를 변화시켜 우선순위를 할당하고 채널 접근을 하는 알고리즘에 관하여 연구하였다.

본 논문에서 제안하는 우선순위의 할당은 항공환경에 맞추어 혼잡 공항 지역과 접근관계구역, En-Route 구역, 대양 항행으로 나누어 우선순위 기법을 각각 다르게 적용 하였다. 이렇게 구역을 다르게 한 이유는 항공기가 밀집한 통신이 빈번하게 발생하는 혼잡한 공항 지역, 접근관계 구역에 En-Route, 대양

항행 지역보다 우선순위를 더 높게 할당함으로써 통신의 효율성을 높이기 위함이다.

시뮬레이션은 항공이동통신 환경에서 항공기 대수의 변화에 따라 기존의 CSMA/CA 알고리즘과 우선순위 할당 CSMA/CA 알고리즘의 처리량, 지연시간, 재전송 횟수를 비교하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 효율성을 확인하였다. 시뮬레이션 결과 처리량, 지연시간, 재전송 횟수에서 모두 기존의 CSMA/CA와 비교하여 더 나은 성능을 보임으로써 항공기 대수가 점점 증가하여 통신량이 더 증가하는 미래의 항공교통 환경에 적합함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

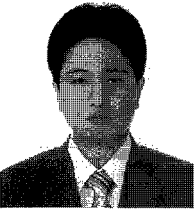
- [1] L.Kleinrock, F.A. Tobagi "Packet Switching in Radio Channels : Part I-Carrier Sense Multiple Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Transactions on Communications*, vol com-23, no.12, pp. 1400-1416, Dec. 1975.
- [2] G. Bianchi, "Performance analysis of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", *IEEE J. Selected Areas in Comm*, vol. 18, no.3, pp. 535-547, March 2000.
- [3] P. Chatzimisios, A.C. Boucouvalas, and V. Vitsas, "Packet delay analysis of IEEE 802.11 MAC protocol," *IEEE Electronic Letters*, vol. 39, no. 18, pp. 1358-1359, September 2003.
- [4] 황안규, 이재용, 김병철, "IEEE 802.11 DCF 성능 개선을 위한 매체접근제어 알고리즘의 설계 및 성능 분석", *전자공학회 논문지 제 42권 TC편 제 10호*, pp. 39-50, 2005. 1.
- [5] E. Ziouva and T. Antonopoulos, "CSMA/CA Performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis," *Computer Communications*, vol. 25, no. 1, pp. 313-321, January 2002.

저자소개



조 윤 현 (Jo, Yun-Hyun)

2007년 2월 : 인하대학교 전자전기공학부(공학사)
2009년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2009년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정



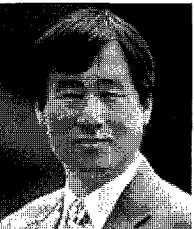
김 용 균 (Kim, Yong-Kyun)

2004년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2006년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정



김 상 옥 (Kim, Sang-Uk)

2006년 2월 : 초당 대학교 정보통신공학부(공학사)
2008년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2008년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정



박 효 달 (Park, Hyo-Dal)

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