

플래그를 이용한 항공 VHF 통신환경에서의 적응형 CSMA/CA 프로토콜

Adaptive CSMA/CA Protocol Using Flag in Aeronautical VHF Communication

김용중*, 박용태*, 박효달*

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

요 약

본 논문에선 플래그를 이용한 전송시의 충돌 완화 및 재전송 슬롯 선택 방식의 변형을 통하여 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜을 항공용 VHF통신에 적합하게 변형시켰다. 일반적으로 CSMA/CA 프로세스는 경쟁 서비스에서 충돌이 일어났을 때 재전송 지연시간만큼 기다리게 되고 경쟁윈도우의 크기가 2배로 커진다. 이로 인해 부하가 증가하면 지연시간이 커지고 처리량이 감소한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 충돌 플래그를 이용하여 본래의 경쟁 윈도우의 크기 변화과정을 변형시켰으며 CSMA/CA 전체 상태 천이 과정에서 충돌시의 과정을 단축시켰다. 또한 패킷이 생성된 상태에서 충돌이 일어나면 플래그를 이용하여 초기에 증가된 경쟁윈도우를 갖고 Backoff 모드에 진입함으로써 재충돌 확률을 줄였다. 시뮬레이션을 수행한 결과 부하가 증가하여도 처리량 및 지연 시간에 대해 좋은 특성을 나타냈으며 제안된 프로토콜은 항공용 VHF 통신에 적합함을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, CSMA/CA protocol is modified for aeronautical VHF communication through collision alleviation and the change of retransmission slot selection method in flag used transmission. When collision occurred in the contention period of CSMA/CA process, it is generally waiting for retransmission delay and it has the double size of CW(Contention Window). To solve this problem, this paper modifies the change procedure of original contention window size and reduces the state transition in collision among the whole of it. Also, in this paper we reduces the second collision probability through the station has to enter Backoff mode with increased contention window in the first collision. In the result of simulation, it is verified that it has good property in throughput and delay, So the proposed protocol is suitable for aeronautical VHF communication

Key words : modified CSMA/CA. flag, aeronautical communication.

I. 서 론

과거의 항공 이동 통신은 음성 통신을 이용하여

조종사와 관제사가 항공 교통 관제와 관련한 메시지를 직접 교환함으로써 수행되었다. 그러나 항공교통 수단이 국제화, 보편화되고 또한 서비스 이용자에

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

· 논문번호 : 2003-2-13

· 접수일자 : 2003년 11월 29일

대한 보다 안전한 항공 운행과 질 높은 서비스에 대한 요구의 증가로 현재 VDL-2(VHF Data Link-2)/VDL-3(VHF Data Link-3)가 연구 중에 있다. [1][2]

유럽에서 연구되고 있는 VDL-2는 음성 채널 대역폭을 8.33kHz로 줄임으로써 채널의 효율이 증가하지만 송신기에서 보내는 에너지 폭을 줄여야 하기 때문에 시스템 구축을 위해서는 더욱 많은 지상 시스템 설비 비용이 요구 되며 또한 항공 수요의 증가로 인해 부가적인 채널이 요구 되었을 때 구축된 시스템으로는 채널 확보가 어렵다. 이에 미국 FAA(Federal Aviation Administration)를 중심으로 현재의 25kHz대역폭을 그대로 유지하면서 4개의 시간 슬롯으로 나누어진 TDMA(Time Division Multiple Access) 디지털 음성/데이터 방식을 사용하는 VDL-3가 연구 중에 있다. VDL-3는 기본적으로 VHF 음성통신 기능을 모두 수행하며, 미래의 종합적인 데이터링크 통신도 지원할 수 있도록 구성되어 있다. 그러나 두 대안 모두 현재 실험적일 뿐이며 상용화되어 도입되기 전까지 변화하는 항공 이동 통신 환경에 적용하기 위한 즉, 음성과 데이터를 효율적으로 통합하고, 시스템 교체 없이 적용 가능한 프로토콜 연구가 필요하다.[3][4][5]

본 논문에서는 음성 통신을 지원 하면서 플래그를 이용한 부하 적응형 CSMA/CA 프로토콜을 통해 데이터 통신의 성능을 개선해 보고자 한다.

II. CSMA/CA 프로토콜

무선 매체에 대한 접근은 조정 기능을 이용하며, 이더넷과 같은 CSMA/CA 접근은 분산 조정 기능(DCF : Distributed Coordination Function)에 의해 제공된다. 만약 무경쟁 서비스가 필요하다면, 포인트 조정 기능(PCF : Point Coordination Function)를 이용할 수 있는데 이 기능은 DCF의 상위에 구성되어 있다. IEEE 802.11 MAC(Media Access Control) 조정 기능은 그림 1에 나타나 있다.

다음은 데이터 전송을 좀더 빠르게 수행할 수 있도록 하는 과정들이다.

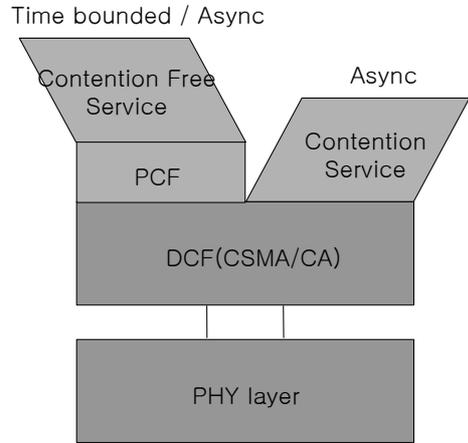


그림 1. MAC 조정 기능
Fig. 1. MAC coordinate function.

2-1 IFS(Inter Frame Space)

DCF/PCF 서비스는 4가지 IFS에 의해 구현되어지며 각각의 간격은 <그림 2>와 같이 트래픽 유형마다 다른 우선권 수준을 제공한다.

- SIFS(Short IFS)는 최고 우선권을 갖는 프레임에 제공된다.
- PIFS(Point IFS)는 무경쟁 동작 중에 사용된다.
- DIFS(Distributed IFS)는 경쟁 기반의 서비스에서 최소의 매체 비사용 시간이다.
- EIFS(Extended IFS)는 고정된 간격이 아니며 본 논문에서는 쓰이지 않는다.

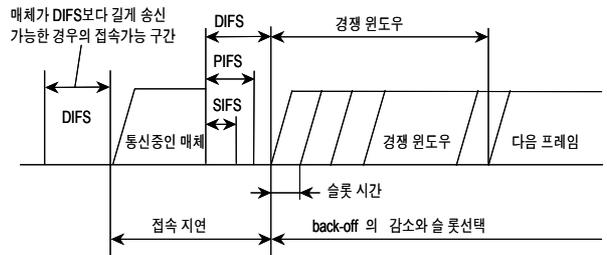


그림 2. IFS 및 채널 특성
Fig. 2. IFS and channel character.

2-2 2-Way CSMA/CA

스테이션들 사이의 신뢰성 있는 전송은 단순한 긍정 확인 응답에 기초한다. CSMA/CA 프로토콜에서 2-Way CSMA/CA 방식은 채널의 가용 영역이

대부분 가시선 내에 위치하며, 부하량의 증가에 따른 채널의 안정도 보다 전체적인 처리량을 요구하는데 사용된다. 2-Way CSMA/CA는 채널 손실이 적고 부하량이 4-Way CSMA/CA 채널에 비해 상대적으로 적다.

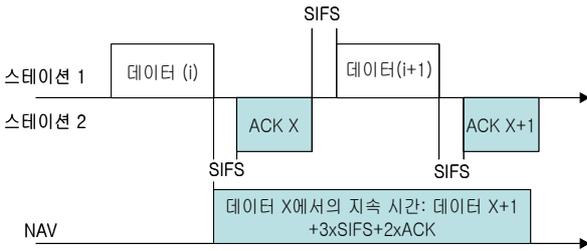


그림 3. 2-Way CSMA/CA 채널 구조
Fig. 3. 2-Way CSMA/CA channel structure.

2-3 가상 반송파 감지기능

가상 반송파 감지 기능은 네트워크 할당 벡터 (NAV : Network Allocation Vector)가 제공하며 2-Way 전송방식일 경우 그림 4와 같다.

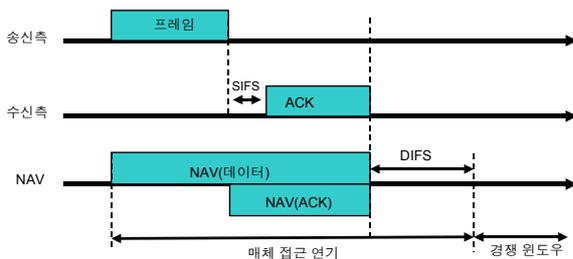


그림 4. 반송파 감지를 위한 NAV사용
Fig. 4. Using NAV for carrier sensing.

2-4 랜덤 Backoff 과정 및 경쟁 윈도우

CSMA/CA 프로토콜에서의 충돌회피 부분은 랜덤 Backoff 절차에 의해 이루어지며 전송할 프레임이 생성되면 채널의 유희여부를 확인 후 DIFS기간 동안 비워 있는 경우 랜덤 Backoff를 시작한다. 이때 슬롯의 길이는 매체에 의존적이다. 즉 고속 물리계층은 더 짧은 슬롯을 사용한다.

$$\text{Slot_Time} = \text{Clear_channel_assessment_Time}(2.1) + \text{Rx_Tx_turnaround_time} + \text{Propagation_Time}$$

$$\text{Backoff_Time} = \text{int}(2^{i+1} \times \text{random}) \times \text{slot_time} (2.2)$$

- Clear_channel_assessment_Time
각 슬롯에서 매체의 사용여부를 결정짓는데 필요한 최소의 시간
- Rx_Tx_turnaround_Time
프레임을 수신한 후 응답까지 걸리는 시간
- Air_propagation_Time
송신 및 수신 터미널 사이의 전파지연시간

스테이션은 경쟁 윈도우 내에서 랜덤 슬롯을 선택 하며, 매체 접근을 시도하기 전에 슬롯을 기다린다. 각 슬롯을 선택할 확률은 모두 같으며 여러 스테이션이 전송을 시도할 때 첫 슬롯을 선택한 스테이션이 매체를 점유하게 된다.

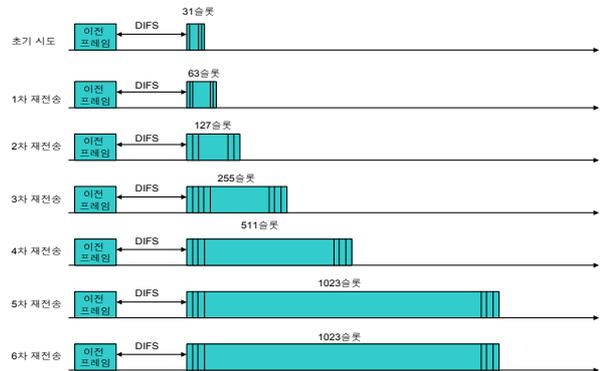


그림 5. 경쟁 윈도우의 지수적 증가
Fig. 5. The exponential increasing of Contention Window.

III. 플래그를 이용한 항공이동통신용 CSMA /CA 제안

그림 6은 기존의 CSMA/CA 프로토콜과 플래그를 이용한 CSMA/CA를 순서도로 나타낸 그림이다. 충돌이 발생했을 경우 이벤트(충돌)에 참여한 스테이션들은 Backoff 단계로 회기 하여 충돌 플래그에 따라 일정한 윈도우의 내에서 송신을 재시도 하게 된다.

경쟁 서비스에서 우선 일반적인 CSMA/CA 순서도에 따르면 패킷이 생성된 후 DIFS만큼의 채널 감지 시간을 갖고 채널이 비워져 있으면 바로 송신 하

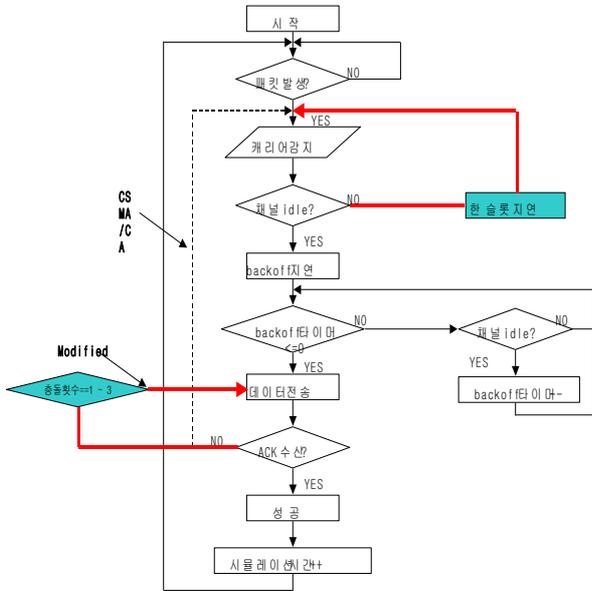


그림 6. CSMA/CA 순서도
Fig. 6. CSMA/CA flow chart.

는 것이 아니라 CW(Contention Window)중 임의의 랜덤 Backoff시간을 설정하며 채널이 IDLE상태일 때 Backoff 시간을 줄여 0이 될 경우 송신을 시도한다. 송신 후 ACK를 대기 하며 수신하지 못한 경우 및 충돌이 감지된 경우 재 전송 지연 시간만큼 대기 후 2배의 CW크기의 랜덤 Backoff 지연 시간을 갖게 된다.

그러나 충돌에 참여한 데이터 패킷은 2배에 해당하는 CW만큼 기다려야 하는 만큼 전체적인 지연에는 영향이 적으나 개별적인 스테이션의 지연이 커지며 따라서 각 충돌 스테이션의 효율이 떨어질 수 있다.

이를 해결하기 위해 충돌 발생시 충돌 플래그라는 조정자를 이용하여 다음 표 1과 그림 7에 의한 CW를 갖고 Backoff를 시작하게 한다.

표 1. 충돌 플래그 설정
Tabel 1. Collision flag setting.

First collision	$0 \sim 1(0 \sim 2^1 - 1)$
Second collision	$0 \sim 3(0 \sim 2^2 - 1)$
Third collision	$0 \sim 7(0 \sim 2^3 - 1)$
Forth collision	Retransmission

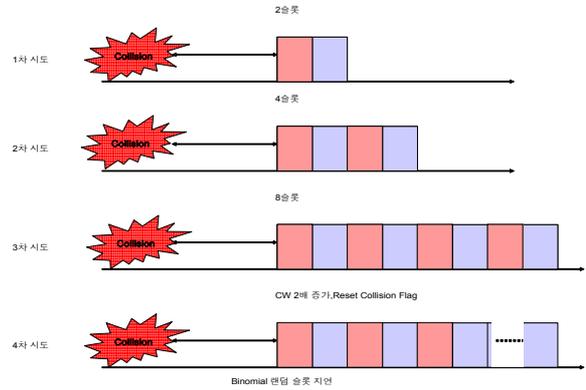


그림 7. 적응형 CSMA/CA의 충돌 플래그에 따른 지연 슬롯
Fig. 7. Delay slot as the collision flag in adaptive CSMA/CA.

- ① 첫 번째 충돌이 일어난 경우 $0 \sim (2^1 - 1)$ 개의 슬롯 중 N번째 슬롯에서 전송이 시도된다.
- ② 두 번째 충돌이 일어난 경우 $0 \sim (2^2 - 1)$ 개의 슬롯 중 N번째 슬롯에서 전송이 시도된다.
- ③ 세 번째 충돌이 일어난 경우 $0 \sim (2^3 - 1)$ 개의 슬롯 중 N번째 슬롯에서 전송이 시도된다.
- ④ 기본 CSMA/CA의 CW 증가에 따른 Backoff 지연시간을 갖고 전송이 시도된다.

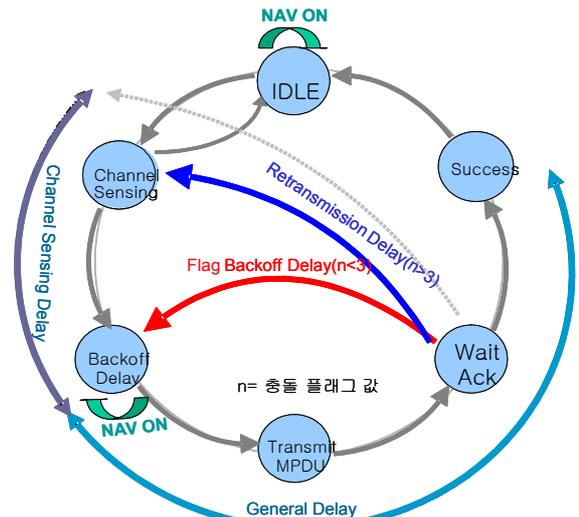


그림 8. 적응형 CSMA/CA의 상태도
Fig. 8. State diagram of adaptive CSMA/CA.

즉 그림 6~ 그림 8 및 표 1에서도 알 수 있듯이 충돌이 발생하면 재전송 지연시간 없이 바로 Backoff 단계에 돌입하여 최소 CW($0 \sim 2^3 - 1$)보다 적은 값의

CW를 가지고 좀더 빨리 전송 시도를 할 수 있게 변형되어 빠른 재전송을 가능하게 설계되었다. 또한 충돌 시에 패킷 전송을 준비 중인 스테이션이 충돌을 감지하게 되면 초기 경쟁윈도우를 크게 확장하여 충돌에 참여한 스테이션과의 충돌을 억제함으로써 충돌로 인한 성능 저하를 개선시킬 수 있을 것이다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 분석

시뮬레이션에 사용된 파라미터 값은 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터
Table 2. Used parameter in simulation.

파라미터	설정값
전송 속도	31.5kbps(밴드폭:25kHz)
적용 범위	200NM(=360km)
Propagation Delay	1.2ms
Slot_Time	2.4ms
SIFS Time	1.2ms
PIFS Time	3.6ms
DIFS Time	6.0ms
Retrans_Delay	6.0ms
ACK Length	15byte
Sensing/channel error	10 ⁻⁸

시뮬레이션 결과 분석에서 채널의 BER(Bit Error Rate) 및 채널 감지 에러는 10⁻⁸로 무시할 수 있는 값으로 설정 하였다. ACK의 길이는 15bytes, 전파 지연은 1.2ms, 데이터 전송 시간은 51ms, 정규화 된 전파 지연 시간은 47ms로 모든 파라미터는 IEEE 802.11 표준안을 참고하여 설정하였다.

그림 9는 부하의 증가에 따른 각 프로토콜의 처리량을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 적응형 프로토콜은 처리량의 경우 최대치 이후 부하가 증가하여도 타 프로토콜에 비해 전체적으로 증감 폭이 적은 것을 알 수 있다.

그림 10은 스테이션의 대수 변화에 따른 제안 프로토콜과 Non-Persistent CSMA와의 지연시간 비교

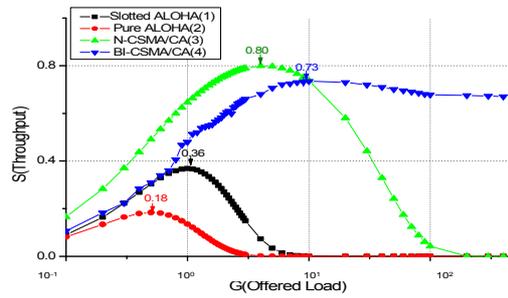


그림 9. 부하에 따른 각 프로토콜의 처리량 비교
Fig. 9. Throughput Comparison of the each random protocol as Offered Load.

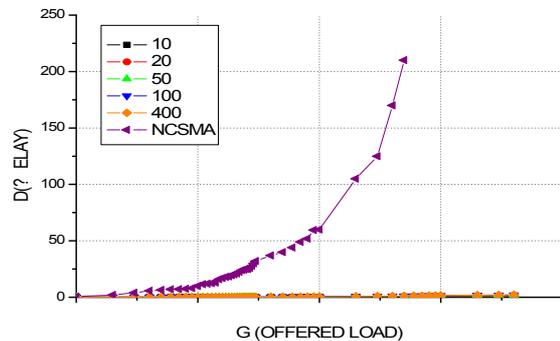


그림 10. 스테이션 대수의 변화에 따른 Non-Persistent CSMA 프로토콜과의 지연시간 비교
Fig. 10. Delay comparison with Non-Persistent CSMA Protocol as Station figure Change.

에 따른 지연 시간 비교이다. 지연 시간의 경우 역시 Non-Persistent CSMA의 경우보다 매우 적음을 확인할 수 있다.

그림 9와 그림 10의 Non-Persistent CSMA와 성능 비교에서 데이터 값의 차이가 커서 제안된 프로토콜의 특성을 제대로 파악하기 어려우므로 제안된 프로토콜만의 스테이션 대수변화에 따른 처리량 및 지연시간을 나타냈다.

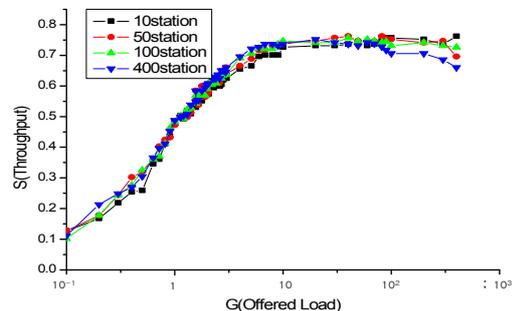


그림 11. 스테이션 대수 변화에 따른 처리량
Fig. 11. Throughput as the change of station figure.

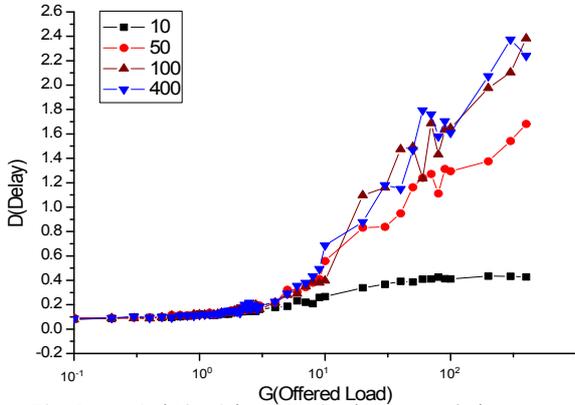


그림 12. 스테이션 대수 변화에 따른 지연시간
Fig. 12. Delay as the change of station figure

G=10까지는 거의 동일한 결과를 보이지만 이후에는 점점 더 많은 차이를 보이고 있다. G=10이상에서 대수가 많을수록 처리량 및 지연시간 변화가 크게 나타난다.

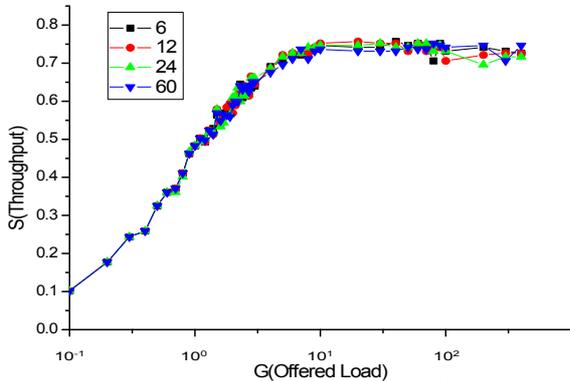


그림 13. 전파지연시간 변화에 따른 처리량 비교
Fig. 13. Throughput as the change of propagation delay.

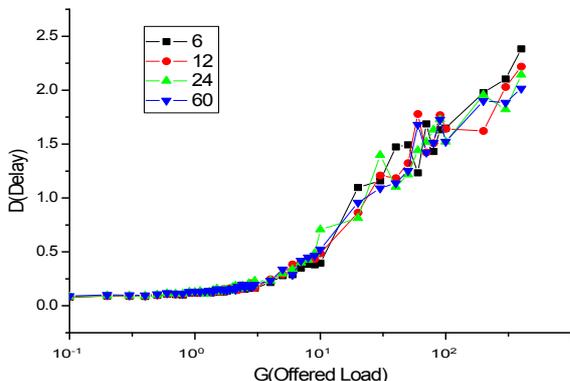


그림 14. 전파지연시간 변화에 따른 지연시간 비교
Fig. 14. Delay as the change of propagation delay.

그림 13과 그림 14에서 전파지연시간에 따른 처리량의 변화는 매우 적으며 지연시간은 부하가 늘어날수록 커짐을 알 수 있다.

다음 그림 15는 패킷 길이에 따른 처리량의 변화이다. 본 논문에서는 100/200/300/400bytes에 대해 비교해 보았다.

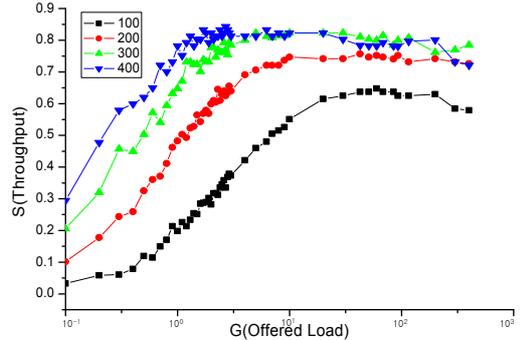


그림 15. 패킷 길이에 따른 처리량의 변화
Fig. 15. Throughput change as packet length.

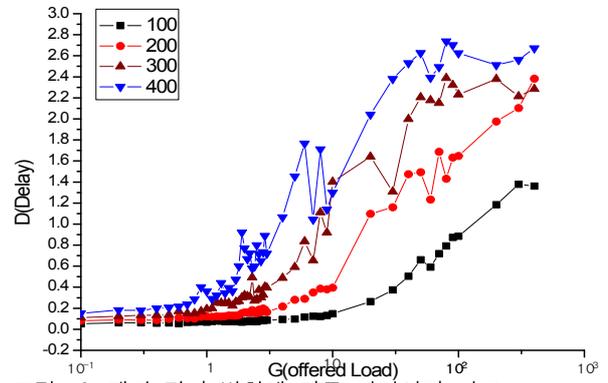


그림 16. 패킷 길이 변화에 따른 지연시간 비교
Fig. 16. Delay comparison as the change of packet length.

그림 15와 그림 16에서 패킷의 길이가 길어질수록 부하의 증가에 따른 처리량의 변화가 적음을 알 수 있다. 이것은 상대적으로 오버헤드의 영향이 감소하기 때문이다. 부하량이 증가함에 따라 충돌에 의한 손실의 증가로 처리량이 급속히 감소하는 반면, 길이가 작은 경우 처리량의 감소 폭이 작음을 알 수 있다.

그림 16에서 패킷 길이의 변화에 따른 지연시간은 부하의 증가에 따라 그 증가폭이 매우 크다. 이는 제안된 프로토콜이 처리량을 일정하게 유지시키기 위해 적절하게 설계되었음을 보여준다.

V. 결 론

지금까지 데이터 길이, 스테이션 수, 프로토콜의

변화에 대해 본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능을 비교 분석 하여 보았다. 제안된 프로토콜은 타 프로토콜에 비해 성능이 매우 향상되었으며 부하의 증가에 따른 처리량의 저하 없이 매우 안정적으로 동작하며 따라서 항공용 VHF 통신에 적합하다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 이상적인 무선 환경인 에러가 없는 환경이란 가정 하에 제안된 프로토콜의 해석이 이루어 졌지만 실질적인 무선 환경의 경우 다중 경로나 신호 감쇠, 숨겨진 노드에 대한 해석이 필요하다. 또한 충돌시 플래그의 설정에 있어 확률적 방법을 통한 접근을 이용한 성능의 개선이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 박효달, "VHF 데이터링크 운용 평가 및 국내 구축 방안", 한국 공항 공단, 1995.
- [2] 김용중, "무선 VHF 채널용 매체접속제어 프로토콜의 성능향상에 관한 연구", 인하대학교, 1998.
- [3] Thomas P. Kabaservice, "VDL Mode 3 Integrated Voice and Data Link", Harris Corporation, 2003.
- [4] D. A. Nelson, "VDL Mode 3", NEXCOM, 2002.
- [5] "VDL Mode 4 Training: DATA LINK OVERVIEW", NUP, 2000.

김 용 중(金勇中)



1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 1998년 2월 : 인하대학교 전자공학과 석사
 1998년 2월 - 현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정 재학중
 관심분야 : 무선통신시스템, 통신 프로토콜, 네트워크 프로그래밍

박 용 태(朴龍泰)



2002년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 2002년 2월 - 현재 : 인하대학교 전자공학과 석사과정 재학중
 관심분야 : 무선통신시스템, 통신 프로토콜, 마이크로웨이브

박 효 달(朴孝達)



1978년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 : (불) 국립항공우주대학 전자공학과 (공학박사)
 1992년 - 현재 : 인하대학교 전자공학과 부교수
 관심분야 : 항공통신 시스템, 초고주파공학