

## A Study on the VADAMA improvements of latency performance through control message collision avoid in MF-TDMA satellite network

Su-Hoon Lee\*

\*Researcher, Dept. of Budget Planning, Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement, Gyeong-Nam, Korea

### [Abstract]

This paper proposes a method to reduce the delay time caused by control message conflicts in VADAMA (Virtual Allocation Demand Assigned Multiple Access) technology, which is a virtual allocation based on-demand multiple access technology in MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access) satellite network. Traditionally, satellite networks have had the problem that all network transmissions have long delay times due to control messages. In this study, in order to improve the delay time caused by terminal control message conflicts in VADAMA technology, the concept of virtual allocation is used to reduce the delay time. VADAMA-PTR (VADAMA Periodic Transmission) divides all terminals into subnets and transmits control. The method is proposed, and the performance analysis of the existing DAMA technology, delay time and data processing rate is performed using Matlab. The results show that the performance is improved.

▶ **Key words:** MF-TDMA, Satellite Network, DAMA, Virtual allocation, Multiple Access

### [요 약]

본 논문은 MF-TDMA(Multi-Frequency Time Division Multiple Access) 위성네트워크에서 가상할당 기반 요구기반 다중접속 기법인 VADAMA(Virtual Allocation Demand Assigned Multiple Access) 기법에서 제어메시지 충돌로 인한 지연시간을 줄이는 방안을 제안한다. 위성 네트워크는 전통적으로 모든 네트워크 전송은 긴 지연시간이 제어메시지로 인해 발생하는 문제가 있었다. 본 연구에서는 가상할당 개념으로 지연시간을 줄인 VADAMA 기법에서 단말의 제어메시지 충돌로 인한 지연시간을 개선하기 위해, 모든 단말을 subnet으로 나눠 순서대로 제어메시지를 전송하도록 하는 VADAMA-PTR(VADAMA Periodic Transfer Request) 제안하였으며, 이를 기존의 DAMA 기법들과 지연시간과 데이터 처리율을 Matlab으로 성능분석하여 성능 향상이 있음을 보였다.

▶ **주제어:** 위성네트워크, 가상할당, 다중접속, 요구기반 다중접속, 다중주파수 시분할 접속

• First Author: Su-Hoon Lee, Corresponding Author: Su-Hoon Lee  
\*Su-Hoon Lee (Ish526218@krit.re.kr), Dept. of Budget Planning, Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement  
• Received: 2024. 07. 19, Revised: 2024. 08. 30, Accepted: 2024. 08. 30.

### I. Introduction

위성 네트워크는 높은 고도에 무선 중계기를 띄어 넓은 반경에 무선 데이터 전송 채널을 제공하여 데이터를 송수신하는 네트워크이다. 현대 전장이 NCW(Network Centric Warfare) 환경으로 변모하고 최근 들어서는 유무인복합체계 등이 등장하면서 전투체계 간 데이터를 주고받으며 유기적으로 작전을 수행하는 능력이 요구되고 있다. 전술 상황에서 공간적 제약 및 상대적인 안정성을 지닌 위성 네트워크를 이용하여 전술 네트워크로 활용하기 위해 Multiple Access 관련 연구를 주요 선진국을 중심으로 발전시켜 왔다[1-5].

군용 및 상용 위성 네트워크에선 MF-TDMA(Multi Frequency Time Division Multiple Access) 형식의 다중접속을 지원한다. MF-TDMA는 위성 네트워크의 자원인 주파수와 타임슬롯을 모두 동적으로 단말에 할당할 수 있는 다중접속방식이다. MF-TDMA의 위성네트워크의 데이터 전송 과정은 동적할당 방식의 DAMA(Demand Assigned Multiple Access) 방식을 따르는 데, 이는 NCC(Network Command Center)가 모든 단말의 데이터 전송을 통제하여 네트워킹한다. 따라서 데이터 전송을 하기 위해서는 NCC에 데이터 전송을 위한 제어메시지 교환이 필수이며, 이에 따른 지연시간이 발생하는 특징을 가지고 있다[6-7].

위성 네트워크에서는 DAMA 방식이 가지는 지연시간을 개선하기 위해서 CFDAMA(Combined Free Allocation DAMA), VADAMA(Virtual Allocation DAMA) 기법 등이 제안되었다[8-9]. CFDAMA 방식은 위성 자원의 유휴 자원이 있을 때, 데이터 전송 채널을 추가로 할당하여 지연시간을 개선하도록 하였고 VADAMA는 단말이 네트워크에 로그인 할 때, 데이터 전송 채널을 가상할당하여 모든 단말에 전송채널을 인지하도록 한뒤, 데이터 전송 시, 위성 단말에 제어메시지를 직접 전송하여 데이터를 전송하게 함으로써 지연시간을 개선하였으나, 높은 트래픽 로드 환경에서는 일부 단말이 보내는 제어메시지 충돌로 인해 지연시간이 발생하는 한계가 있었다[10-12].

본 연구는 VADAMA 기법이 가지는 지연시간을 개선하기 위해 단말들의 데이터 전송 요청에 대해 NCC의 통제하는 방안을 제안한다. 군용/상용 위성네트워크 표준에서 MF-TDMA의 프레임 구조와 자원할당방안에 대한 관련 연구를 기술하여 VADAMA의 제어메시지 전송으로 인한 지연시간 발생하는 문제를 도출하고 이를 해결하기 위해 제안하는 방안을 기술한다. 이후, 기존 기법과 제안하는

방안을 성능을 분석하고 향후 연구방향을 도출하여 결론을 맺는다.

### II. Preliminaries

#### 1. Related works

##### 1.1 MF-TDMA(Multi Frequency-Time Division Multiple Access)[6-7],[10-11]

DVB-RCS, WIN-T 등 표준에서는 MF-TDMA 프레임 구조를 채용하고 있다. 위성 네트워크의 자원은 무선 채널의 주파수와 타임슬롯이다. FDMA는 각 단말에 주파수를 나눠 각 단말에 데이터 채널을 할당하는 방식이고 TDMA는 하나의 주파수 채널에 시간을 나눠 단말에 데이터 채널을 할당하는 방식이다. MF-TDMA 방식은 이 둘을 혼합한 방식으로 주파수 영역과 시간 영역을 모두 동적으로 할당한다.

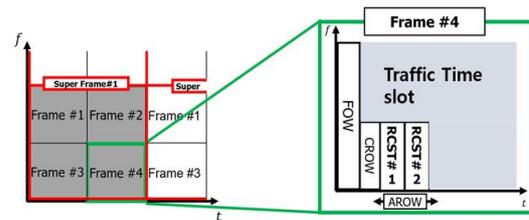


Fig. 1. MF-TDMA Frame Structure

Fig 1은 MF-TDMA 위성 프레임 구조를 설명하는 그림이다. 그림에 나타나듯이 MF-TDMA는 슈퍼프레임, 프레임, 타임슬롯으로 계층적으로 나눠져있다. 타임 슬롯에는 데이터 전송의 충돌이 일어나지 않도록 가드 타임이 포함되어 있다. MF-TDMA 제어 메시지 채널은 제어메시지 전송의 목적에 따라 CROW(Contention Return Order Wire), AROW(Assigned Return Order Wire), FOW(Forward Return Order Wire)가 있다. 표 1은 각 제어메시지 채널의 송신자 수신자와 채널 사용 목적을 정리한 표이다.

Table 1. MF-TDMA Satellite Network Control Channel

CROW		AROW		FOW	
Tx	Rx	Tx	Rx	Tx	Rx
All of terminal	NCC	Each terminal	NCC	NCC	All of terminal
channel usage object					
To allocate AROW channel		To transmit message		To transmit NCC's message	

1.2 Satellite Network Resource Allocation Protocol  
1.2.1 DAMA(Demand Assigned Multiple Access)[7]

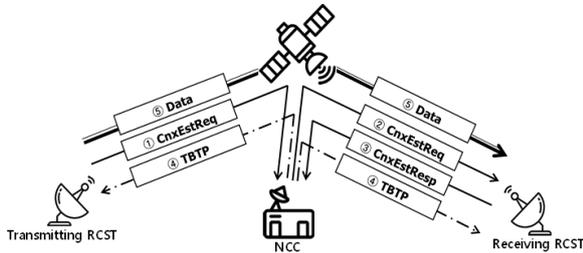


Fig. 2. Data Transfer process in DAMA

위성 네트워크 데이터 전송 과정은 전통적으로 DAMA 방식에 따라 전송된다. DAMA 방식은 모든 데이터 전송 요청을 NCC가 통제 제어하는 방식으로 데이터 전송을 위해서 기본적 2 hop의 데이터 전송 지연시간을 가진다. Fig 2는 DAMA 데이터 전송 과정을 나타낸 그림이다.

위성 네트워크의 모든 단말은 NCC에서 전송하는 TBTP(Time Burst Transmit Plan) 를 통해서 동기화된다. DAMA 프로토콜의 최종적인 목표는 주기적으로 전송되는 TBTP에 전송하고자 하는 데이터 전송을 위한 전송 채널에 대한 정보가 포함되어 데이터 전송을 보장받는데 있다. TBTP는 프레임 단위로 주기적으로 FOW 채널을 통해서 전송된다.

TBTP의 핵심 정보는 데이터 전송 채널에 관한 정보이다. TBTP 내부에는 NCC에서 정해진 데이터 전송 채널의 주파수와 타임슬롯 점유 시간이 기재되어 있다. 위성 단말은 TBTP 정보를 확인하여 프레임마다 Tx, Rx 모듈의 채널을 변경하며 데이터 송수신을 수행한다. 모든 단말이 동일한 TBTP를 기준으로 Tx, Rx 의 채널정보를 변경하기 때문에 데이터 전송에서 충돌이 발생하지 않는다.

그러나 DAMA는 데이터 전송을 위해서는 자신의 데이터 전송 채널에 관한 TBTP가 작성되어 모든 단말에 송신되기까지 제어메시지를 주고받기 때문에 고정적으로 2hop 의 지연시간을 가진다. 이러한 한계점을 개선하기 위해서 데이터 전송 채널 할당시 여유 자원이 있을시, 추가로 전송 채널을 할당하여 다음 전송 요청이 생성 될 때, 생성된 요청건에 대해서는 새로운 TBTP 작성을 기다리지 않고 바로 전송하는 CFDAMA 기법이 제안되었으나 트래픽 로드가 높은 네트워크 환경에서는 여유 자원이 없어 그 이득이 줄어드는 한계점이 있었다.

1.2.2 CFDAMA(Combined Free allocation Demand Assigned Multiple Access)[8-9]

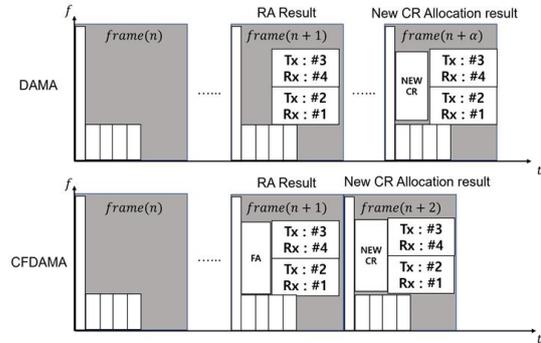


Fig. 3. Difference of Resource Allocation result between DAMA and CFDAMA

CFDAMA는 기존 DAMA와 동일하게 NCC에 데이터 전송과정이 동일하나 유희자원이 있을 때 데이터 전송채널을 추가로 할당하여 해당 단말이 새로운 데이터 전송 요청이 있을 때, 활용하도록 하는 DAMA 기법이다.

기존 DAMA 에서는 데이터 전송 요청 건이 생성될 때 마다 NCC에게 데이터 전송 요청 메시지를 전송하여 할당받았다. CFDAMA의 경우 해당 프레임에 모든 데이터 전송 요청 건들을 할당하더라도 남은 자원량이 동일한 자원량을 가진 채널을 할당 가능할 때, TBTP에 해당 자원을 추가로 할당하는 것을 말한다. Fig 3 은 기존 DAMA와 CFDAMA의 데이터 전송 결과를 비교한 것이다. 동일한 데이터 전송 건을 처리한다고 가정할 때, 자원할당이 완료되는 프레임 RA(Resource Allocation) 결과 프레임에서 동일한 시간이 소요되어 할당되나, CFDAMA의 경우 유희 자원에 대해 FA(Free Allocation)이라는 데이터 전송 채널이 추가로 할당되어 있다.

RA 결과 프레임에 바로 CR(Connection Request) 건이 새롭게 생성되었을 때, DAMA는 새로운 전송건에 대해서도 NCC에 자원을 할당받아 전송하기 때문에 일정한 지연시간이 소모되지만, CFDAMA의 경우 FA 채널을 통해 바로 다음 프레임에 새로운 CR을 처리하여 데이터 전송을 한다.

CFDAMA에서의 데이터 전송 지연시간의 이득은 위성 자원의 유희자원이 남는 상태에서 추가 할당한 데이터 전송 채널이 새로운 데이터 전송 요청 건에서 요구되는 자원량에 부합할 때, 발생한다. 따라서 유희자원이 부족해지는 높은 트래픽로드 환경의 네트워크에서는 그 이득이 줄어들며, 추가로 할당한 데이터 전송 채널의 자원량이 새로운 데이터 전송 건에서 요구하는 자원량과 차이가 많이 나면, 다시 새로운 데이터 전송 요청 건은 NCC에 자원 추가할

당 요청 메시지를 보냄으로써 기존 DAMA 보다 지연시간이 더 걸리는 경우가 생긴다.

CFDAMA의 연구 분야에서는 추가 할당 자원하는 자원의 양과 해당 채널을 이용하는 단말을 결정하는 방법에 대해서 연구되어 왔다. 기본적으로 FA(Free Allocation) 채널을 단말이 NCC에 똑같이 요청하는 방법, Round-Robin 형태로 네트워크에 참여한 단말들이 순차적으로 FA 자원을 할당하는 방법 등이 고려되었다.

[13-16]에서는 딥러닝 분야에서 데이터 전송 예측에 성능 개선을 보인 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델, CLSTMTL(Convolutional long short term memory)를 적용하여, 데이터 전송 요청량과 전송하는 단말을 과거 데이터 전송 이력을 기반으로 예측하는 CFDAMA기법이 제안되었으나, FA의 전송 채널과 실제 발생하는 데이터 전송 채널 간의 정확도를 높임으로써 NCC의 추가적인 조정 없이 데이터 전송을 가능하게함에 집중하지만 FA가 사라지는 자원량이 부족한 열악한 환경의 위성네트워크에서의 자원 할당 방안은 보고되지 않고 있다.

### 1.2.3 VADAMA(Virtual Allocation Demand Assigned Multiple Access)[10-11]

VADAMA는 트래픽 로드가 높은 환경의 네트워크에서도 지연시간 발생 문제를 개선할 수 있는 DAMA 프로토콜이다. VADAMA에서는 단말이 네트워크 망에 로그인 할 때, 데이터 전송 채널을 가상으로 할당 받아 데이터 전송 시, 가상할당 채널 정보로 데이터를 송수신하고 NCC가 필요에 따라 가상할당 채널에 자원을 추가 조정하여 데이터를 전송하는 DAMA 기법이다.

VADAMA에서는 단말들이 네트워크 로그인을 할 때, 가상의 데이터 전송 채널을 할당받는다. 가상으로 할당받은 데이터 전송 채널은 TBTP를 통해서 모든 단말이 각 단말이 보유하고 있는 가상의 데이터 전송 채널 정보를 인지한다. 가상 자원을 가지고 있는 단말과 그렇지 않은 단말은 각각 Primary 단말, Secondary 단말로 분류되어 NCC에서 관리한다.

#### 1.2.3.1 VADAMA Network Data Transfer Process

Fig 4는 VADAMA의 데이터 전송 과정을 도식화한 그림이다. VADAMA 단말은 데이터 전송 요청 메시지를 전송할 때, 수신단말의 AROW 채널 주파수에 Tx를 설정한다. 수신 단말의 AROW 채널은 NCC, 수신단말의 Rx가 AROW 채널 주파수로 설정되어 있어, 송신 단말의 전송 요청메시지는 NCC, 수신단말에 동시 전송된다.

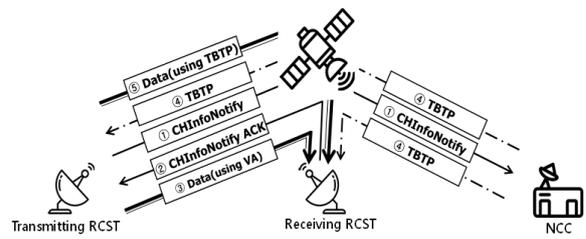


Fig. 4. Data Transfer process in VADAMA

수신 단말은 TBTP를 확인하여 송신단말의 가할당 받은 데이터 전송 채널에 점유 중인 데이터 전송 건이 없을 시, 데이터 전송 요청을 보낸 단말의 AROW 채널로 데이터 전송 확인 메시지를 보낸다. 데이터 송신 단말은 데이터 전송 확인 메시지를 받으면 다음 프레임에 가할당 채널로 데이터 전송을 시작한다.

NCC는 수신단말과 송신단말의 AROW 채널들을 통해 수신된 데이터 전송 요청 메시지와 확인 메시지를 정상적으로 전송되는 것을 확인하면 데이터 전송 요청 메시지 내에 있는 필요 BTU(Burst Transfer Unit)량을 확인하고 가할당 데이터 전송 채널의 BTU와 편차를 확인한 뒤 필요에 따라 자원량을 조정하여 TBTP로 모든 단말에 FOW 채널을 통해 통지한다. 모든 단말은 새로운 TBTP를 통해 새로운 데이터 전송 채널을 확인 후, 동기화 된다.

VADAMA에서는 데이터 전송요청 건을 각 단말의 AROW 채널로 채널요청 메시지를 전송하기 때문에 동시에 2개의 단말의 데이터 전송 요청을 하거나, 수신 단말이 NCC에 제어메시지를 보낼 때, 데이터 전송 충돌이 발생할 수도 있다. 데이터 전송 충돌 이후, 기존의 DAMA와 같이 데이터 전송 요청을 하므로, 트래픽 로드가 높은 환경에서는 일부 비효율이 발생하는 한계점이 있었다.

#### 1.2.3.2 VADAMA Network Data Transfer Collision

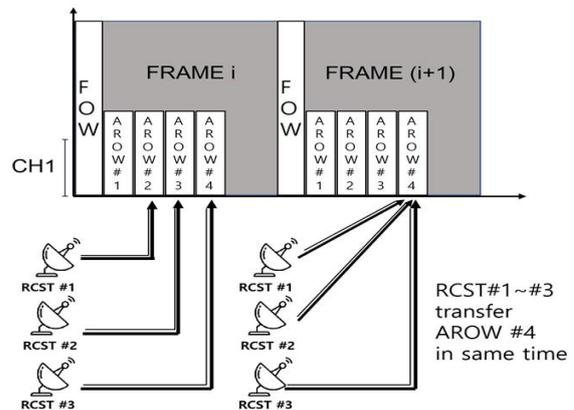


Fig. 5. AROW Channel Collision

Fig. 5는 VADAMA 네트워크에서 전송메시지 전송 시, 충돌이 발생할 수 있는 경우를 나타낸다  $i$ 번째 프레임에서는 단말 #1~#3 이 동시에 데이터 전송 요청을 했더라도 각자 수신 단말이 다르기 때문에 각 AROW 채널에 데이터 전송 요청 메시지를 충돌없이 보내고 있다.  $(i + 1)$ 번째 프레임에서는 단말 #1~#3이 동시에 데이터 전송 요청을 #4에 보내어 AROW 채널에서 충돌이 일어나고 있다.

데이터 전송의 충돌 시, NCC와 데이터 수신 단말이 동시에 AROW 채널 주파수를 Rx로 설정하고 있기 때문에 깨진 신호를 동시에 확인하여 인식한다. 이후, 다음 프레임에 자신의 AROW 채널로 데이터 전송 요청 메시지를 NCC에 보내 DAMA와 동일하게 데이터 전송 과정을 거친다.

NCC는 데이터 전송 요청 메시지를 받는데로 DAMA 와 동일한 과정으로 데이터 전송 채널을 할당한다. VADAMA의 AROW 채널에서의 충돌은 데이터 전송 충돌이 발생한 것을 확인하고 DAMA 방식을 수행하기 때문에 오히려 전송 지연시간이 1hop 더 걸리는 비효율이 발생하므로 VADAMA의 데이터 지연시간 최적화를 위해서 해당 전송 충돌 건의 적절한 후속 조치 방법이 요구된다.

[10] 연구에서는 전송 충돌 건에 대해서 랜덤 대기시간을 가진 후, 수신 단말의 AROW 채널에 다시 재전송하도록 하였으나, 랜덤 대기시간이 다음 프레임이거나 RTT(Round Trip Time) 보다 낮은 시간으로 설정되어 재전송시, 충돌이 발생하지 않으면 지연시간에 이득이 있었으나, 반대의 경우는 오히려 DAMA 방식처럼 처리하는 경우보다 높은 지연시간을 가지게 된다.

### III. The Proposed Scheme

#### 1. VADAMA-PTR(VADAMA Periodic Transmission Request)

제안하는 기법은 VADAMA의 단말들이 AROW 채널 충돌 발생 시, 발생건에 대해 전송 요청 메시지를 재전송하지 않고 NCC가 전송을 조정할 수 있도록 한다.

VADAMA-PTR 기법은 VADAMA 네트워크 단말이 데이터 전송 요청을 허가된 프레임에서만 시행하는 기법이다. VADAMA의 고질적인 비효율은 데이터 전송 요청 메시지의 충돌에 의해서이다. 이는 모든 단말이 데이터 전송 건이 생성되면 무조건 데이터 전송 요청 메시지를 AROW 채널에 보내기 때문이다.

제안하는 기법에서는 초기 네트워크에 로그온 시, NCC는 TBTP에 단말들에게 subnet 정보를 제공하여 단말은

subnet 정보와 프레임 번호를 보고 데이터 전송 가능한 프레임이라고 판단될 때, 데이터 전송 요청 건을 보내는 것이다. 이를 통해 다른 subnet에 속한 단말들 간의 AROW 채널 충돌을 원천 차단할 수 있어 이에 따른 지연 시간을 개선할 수 있다.

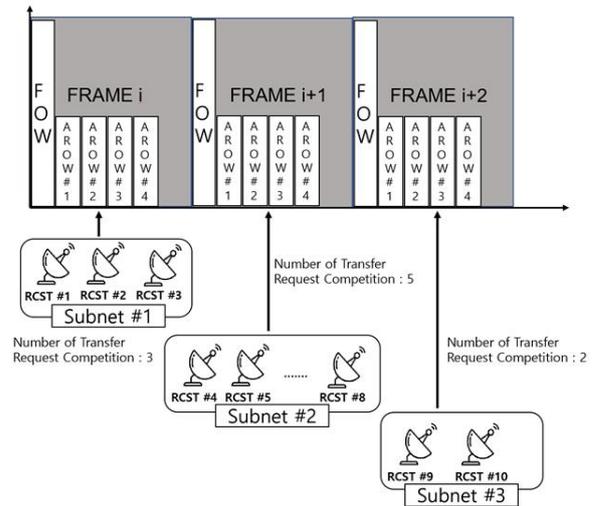


Fig. 6. VADAMA-PTR Transfer Request

#### 1.1 VADAMA-PTR Transfer Process

VADAMA-PTR에서는 네트워크 로그온 과정은 VADAMA와 동일하나 특정할 점은 subnet 정보가 TBTP에 포함된다. subnet은 NCC가 관리하는 단순 숫자 정보로 프레임 번호와 마찬가지로 시스템 내부적으로 식별자 기능을 수행한다.

로그온 된 단말은 로그온 과정에서 subnet에 할당된다. subnet의 종류는 네트워크 운용자가 네트워크의 목적에 맞게 설정한다. Fig 6은 subnet에 따라 다른 프레임에 데이터 전송 요청 메시지를 전송하는 VADAMA-PTR의 운용 예시를 보여준다. 1번 subnet에는 RCST#1 ~ #3, 2번 subnet에는 RCST #4 ~#8, 3번 subnet에는 RCST #9~#10이 속해 있는 것을 확인할 수 있다.

1번 subnet은 프레임 번호  $f_n \% 3$  값이 '1'인 경우 데이터 전송 요청을 하고 2번 subnet은 '2'일 경우, 3번 subnet은 '3'이면 데이터 전송 요청 메시지를 보낸다. subnet 별로 데이터 전송 요청 메시지를 전송하는 것을 프레임마다 허용 여부를 결정함에 따라 기존의 무분별히 데이터 전송 요청이 일어나 충돌 횟수가 증가하는 문제를 개선할 수 있다.

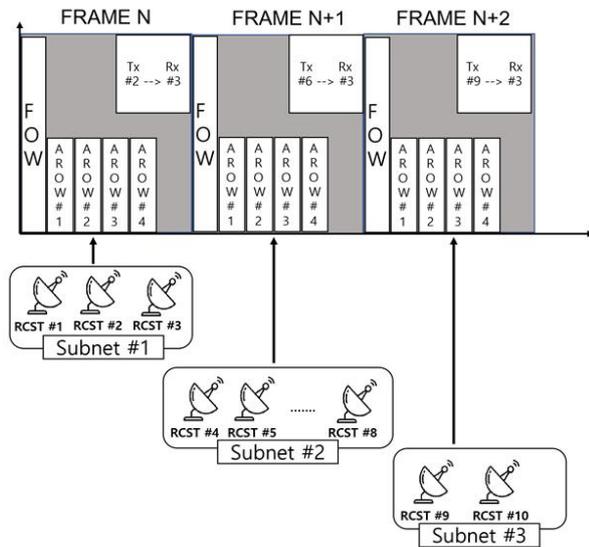


Fig. 7. VADAMA-PTR Data Transfer example

Fig 7은 VADAMA-PTR에서 자원을 할당 받아 데이터를 전송하는 프레임 예시를 보여준다. 그림 5와 마찬가지로의 subnet 구성과 단말의 데이터 전송에서 특별히 주목해야하는 것은 데이터 전송 채널의 중복 사용이다. 프레임  $N$ 의 #2과 #3번의 데이터 전송 채널이 ( $N+1$ )에서는 #6과 #3번의 데이터 전송 채널로, ( $N+2$ )에서는 #9과 #3번의 채널로 이용되는 것을 확인할 수 있다.

기존 VADAMA에서는 수신 단말의 데이터 전송채널이 사용중이면 NCC에 DAMA의 데이터 전송 채널 할당 과정을 거쳐서 다른 채널을 할당받아 데이터 전송을 수행한다. 데이터 전송 하는 와중 해당 채널이 점유하고 있는 주파수가 다른 단말의 가할당 자원일 경우, 해당 단말이 데이터 전송을 요청하면 NCC에 의해 데이터 전송이 멈출 위험성을 감수해야했다.

VADAMA-PTR에서는 하나의 단말에 여러 단말이 데이터 전송 요청을 할 경우 subnet 숫자 만큼 데이터 전송 채널을 프레임 별로 나눠서 쓰게 함으로써 자원 이용 효율을 개선하였다.

3번 subnet의 경우 #9, #10단말 만이 데이터 전송 요청 메시지를 보내기 때문에 해당 프레임에서는 흡사 트래픽로드가 적은 환경에서의 VADAMA 데이터 전송 지연시간을 누릴 수 있다. 보통 전술 네트워크에서는 우선순위가 높은 단말이 있을 수 있다. VADAMA-PTR에서는 우선순위가 높은 단말이 있을 경우 그 목적에 따라 데이터 자원 할당에 우선권을 subnet을 배정 결과에 따라 부여할 수 있다.

### 1.2 VADAMA-PTR Subnet

VADAMA-PTR에서는 네트워크 로그온 과정은 VADAMA와 동일하나 특정할 점은 subnet 정보가 TBTP에 포함된다. subnet은 NCC가 관리하는 단순 숫자 정보로 프레임 번호와 마찬가지로 시스템 내부적으로 식별자 기능을 수행한다.

로그온 된 단말은 로그온 과정에서 subnet에 할당된다. subnet의 종류는 네트워크 운용자가 네트워크의 목적에 맞게 설정한다. 그림 5는 subnet에 따라 다른 프레임에 데이터 전송 요청 메시지를 전송하는 VADAMA-PTR의 운용 예시를 보여준다. 1번 subnet에는 RCST#1 ~ #3, 2번 subnet에는 RCST #4 ~#8, 3번 subnet에는 RCST #9~#10이 속해 있는 것을 확인할 수 있다.

1번 subnet은 프레임 번호  $f_n \% 3$  값이 '1'인 경우 데이터 전송 요청을 하고 2번 subnet은 '2'일 경우, 3번 subnet은 '3'이면 데이터 전송 요청 메시지를 보낸다. subnet 별로 데이터 전송 요청 메시지를 전송하는 것을 프레임마다 허용 여부를 결정함에 따라 기존의 무분별히 데이터 전송 요청이 일어나 충돌 횟수가 증가하는 문제를 개선할 수 있다.

### 1.3 VADAMA-PTR Subnet Design issue

VADAMA-PTR은 트래픽 로드 환경이 높은 네트워크 환경에서 각 단말간에 데이터 전송 요청 메시지의 충돌을 최대한 회피하기 위한 목적으로 subnet을 나눠 subnet 단위로 데이터 전송 요청 권한을 가진다. 주요 예를 들면,  $frame(n)$ 에서는 #1 subnet에 속한 단말들만 데이터 전송 요청을 전송하고 다른 단말들은 데이터 전송 요청을 대기한다. 따라서 subnet 숫자가 많아지면 많아질수록 다른 단말들이 데이터 전송 대기 시간이 늘어난다.

subnet 수를 최소한으로 줄이고 해당 subnet에 많은 수의 단말을 책정하면 동일한 subnet에 속한 단말들끼리 데이터 전송 요청 충돌이 발생할 확률이 증가한다. 따라서 네트워크의 단말 수를 고려하여 적절한 subnet 수를 결정하여 단말들 간에 전송 요청 충돌이 최소화 될 수 있도록 subnet에 속한 단말의 수를 네트워크 목적에 맞게 구성하여야 한다. 군 전술 환경에서는 각 단말들에 있어 데이터 전송 우선순위가 다르다. 지휘관이나, 주요 작전을 수행하는 단말의 경우 데이터 전송에 대해 우선권을 가져야 하고 이를 작전 상황속에서 우선권이 동적으로 관리할 수 있어야한다. VADAMA-PTR의 subnet은 우선권이 높은 단말들을 각자 독립된 subnet을 책정함으로써 전송 요청에 우선권을 부여할 수 있어, 군 전술 네트워크에 적합하다.

## IV. Simulation

### 1. Simulation Development Result

Table 1. Table of parameter in MATLAB simulation

Parameter	Value
Number of Terminal ( $N_t$ )	30
Frame length ( $T$ )	450ms
Bandwidth ( $B$ )	36MHz
Burst departure interval time	Poisson ( $\lambda = 5frame \sim 30frame$ )
Round trip time	270ms
Normalized Traffic load	0.1~1.0
Number of Simulation ( $N_s$ )	100000
Simulation time	1000 frame

VADAMA-PTR의 성능을 확인하기 위해서 VADAMA 기법과 데이터 전송 지연시간, 데이터 처리율을 비교하였다. DAMA, CFDAMA-RR(Round Robin) 기법의 성능과 비교 분석을 수행하였으며, 최근 CFDAMA의 연구에서 성능 향상을 보인 CFDAMA-CLSTM, CFDAMA-LTSM 기법의 요소를 반영을 위해 Free Allocation 채널 할당 수와 채널이 보유한 자원량의 예측이 500 Frame 초과할 때, 모두 성공한다고 가정하였다. VADAMA-PTR에서는 subnet 구성 방법에 따른 subnet 수를 증가시켜가며 시뮬레이션을 수행했다. 각 시뮬레이션을 시작할때마다, 모든 단말이 subnet에 임의로 할당되어 네트워크를 수행하였다.

시뮬레이션은 MATLAB 환경에서 구현하였으며, 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값은 Table 1.과 같다. 프레임 길이와 채널은 DVB-RCS 의 파라미터로 설정하였고 각 단말별로 랜덤하게 데이터 전송 요청을 발생하도록 하였다. 데이터 전송 요청 메시지 내부에는 필요한 BTU와 필요 프레임 수를 포함하도록 하였다.

시뮬레이션은 1회 시뮬레이션의 프레임 전체에 전송 요청 메시지 발생 정의 단계, 자원 할당 단계, 데이터 전송 단계로 구성되어 있다.

데이터 전송 요청 단계에서는 전체 단말별로 데이터 전송을 요청할 프레임을 정의한다. 데이터 전송 요청 후 후속 새로운 전송 요청 하는 시간과 전송 요청 발생 건수는 각각 지수분포와 포아송 분포를 따르는 랜덤 수로 구현하였다.

자원할당 단계에서는 전송 요청 건 메시지 내에 필요 BTU를 확인하여 타임슬롯에 적절하게 배치하는 작업을 수행한다. 타임슬롯 배치는 기존 채널에서 자원을 검색하여 할당이 가능하면 바로 배치하는 First Fit 알고리즘에 따르도록 하였다. 데이터 전송 요청 메시지의 필요 BTU에

충족하는 채널이 존재하면 '자원할당 성공' 상태의 리스트에 저장하고 충족하는 채널이 없으면 '자원할당 대기' 리스트에 저장하도록 하였다.

데이터 전송 단계에서는 시뮬레이션이 진행되면서 처리 완료된 프레임은 확인하며, 전송 요청 메시지에 있는 필요 프레임을 충족하면 해당 전송 요청 건의 할당된 자원을 해제하고 '전송 완료' 상태의 리스트로 저장한다.

시뮬레이션은 VADAMA-PTR의 성능은 subnet 수에 대한 네트워크의 전체적인 영향력을 확인하기 위해서 subnet 수를 순차적으로 증가시켜 각 시뮬레이션 10만회 실시하였다. 네트워크의 트래픽 로드가 전체 자원의 50%를 초과할 때 subnet에 따라 단말이 데이터 전송 요청을 보내도록 하였다.

### 2. Simulation result and performance analysis

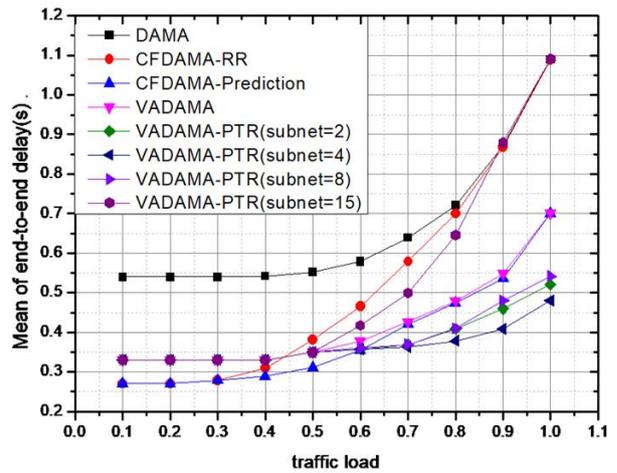


Fig. 8. End-to-End delay time performance analysis

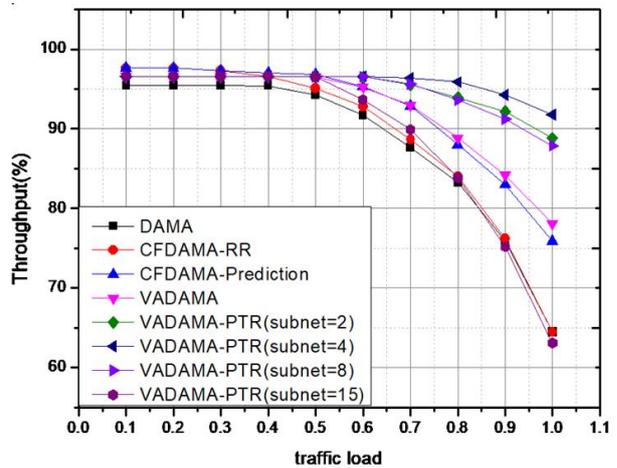


Fig. 9. Data Throughput performance analysis

Fig 8, Fig 9는 VADAMA-PTR과 CFDAMA, CFDAMA-Prediction, VADAMA, DAMA 방식의 지연시간과 데이터 처리율 성능을 비교한 그래프이다. 지연시간은 시뮬레이션 도중에 생성된 데이터 전송 건에 시작 프레임 기록하고 데이터 전송이 완료되면 끝난 프레임의 값의 차이로 산정하였다. 그래프를 확인하면 트래픽 로드 0.5 까지는 기존 VADAMA 와 동일하게 동작하기 때문에 그 값들도 거의 동일하며, DAMA의 지연시간은 평균 0.56ms로 DAMA의 이론적인 지연시간과 유사한 값을 나타내고 있다. CFDAMA는 낮은 트래픽 로드 환경에서는 FA 자원을 최대치로 활용하여, 이론상 0.27ms의 지연시간을 나타내나, 트래픽 로드가 증가하면 할수록, FA 가 사라져 DAMA의 성능에 근접한다. CFDAMA-LTSM, 및 CFDAMA-CLSTM의 경우 FA를 디퍼닝 모델이 데이터 전송 요청 단말 수 및 자원량을 예측해서 사용하기에 FA를 단말의 전송 요청 건보다 우선 할당하도록 구현하여FA를 활용하도록 한 결과 시간이 지나면 지날수록 CFDAMA의 성능에 비해 28%의 성능향상을 보였으며, 그 성능은 VADAMA에 근접하였다.

이는 FA가 NCC의 제어메시지 교환없이 데이터 송수신을 바로 하기 때문에 VADAMA의 가상할당 자원 사용과 동일한 효과를 지녔기 때문이다.

트래픽 로드가 전체 자원의 50%를 넘어서면 VADAMA-PTR 버전은 기존의 DAMA와 다르게 subnet을 고려하여 데이터를 전송하기 시작하면서 성능에 차이를 보이기 시작한다.

시뮬레이션에서는 subnet 수가 2일 때에는 22%의 성능향상을 보였으나, 하나의 subnet에 많은 단말들이 배정됨으로써 데이터 전송 요청 시, 요청 메시지의 충돌이 발생하였다. subnet 수가 4일 때, 30개의 단말들이 적절히 분배됨과 동시에 데이터 전송 권한 획득을 위한 지연시간이 가장 적어 기존 VADAMA 대비 지연시간 평균 19.61%, 데이터 처리율은 7.1%의 개선이 있었으나, subnet 수가 8개를 넘어가면서 성능저하가 시작되어 15개가 되었을 때는 기존의 DAMA 보다 성능이 약 2% 떨어지는 것으로 확인되었다.

이는 subnet이 너무 많아지면 한 subnet이 다시 데이터 송수신 요청권을 받기 위해서 대기해야하는 지연시간이 길어지기 때문이다.

## V. Conclusion

본 논문은 MF-TDMA 위성네트워크에서 VADAMA 기법이 가지는 AROW 채널 충돌로 인한 지연시간을 개선하기 위해 VADAMA-PTR 기법을 제안하였다.

VADAMA 기법에서는 기존 DAMA 기법이 가지는 지연시간을 줄이고자 단말들이 NCC 와 통신하는 AROW 채널을 단말들에게도 전송하도록 허용하고, 네트워크 로그온 시, 데이터 전송 채널을 가상으로 할당하여, 데이터를 송수신 단말들끼리 제어메시지를 직접 송신하여 전송이 가능하도록 하였다.

VADAMA의 기본적이 AROW 채널의 허용은 동시에 다수의 채널의 하나의 단말에게 데이터 전송요청을 보내면 데이터 충돌을 감수하여야 했다. 본 논문에서는 모든 단말이 전송 요청을 보내지 말고 subnet을 정의하고 각 subnet이 데이터 전송 요청권을 순서대로 가져, 데이터 전송 요청권을 획득할 때, subnet에 속한 단말들만 데이터 전송 요청을 보내도록 하였다.

VADAMA-PTR의 성능 개선을 확인하기 위해서 MATLAB 환경에서 DAMA, CFDAMA, CFDAMA-Prediction, VADAMA, VADAMA-PTR 기법을 DVB-RCS 표준에 호환되는 파라미터들을 사용하여 구현하였고 데이터 처리율, 지연시간 측면에서 이득이 있음을 확인하였다.

향후, 연구에서는 subnet에 따라 데이터 전송을 하는 경우, 동일한 전송채널에 프레임별로 송수신 단말이 달라지는 특성을 이용해서 Frequency 도약 효과를 내 항재밍 효과를 보이는 네트워크 운영 방안을 창출해낼 수 있을 것으로 사료되며, 필요에 따라 우선순위를 가진 단말이 속한 subnet에 데이터 전송 요청 권한을 우선적으로 할당하는 알고리즘이 연구 된다면 전술네트워크에 적합한 위성 네트워크 자원 할당 방안이 될 것이다.

## REFERENCES

- [1] B.A.Homssi, A.Ai-Hourani, K.Wang, P.Conder, S.Kandeepan, J.H.Choi, B.Allen and B.Moores, "Next Generation Mega Satellite Networks for Access Equality : Opportunities, Challenges, and Performance", IEEE Communications Magazine, Volume 60, Issue 4, pp. 18-24 April, 2022, DOI : 10.1109/MCOM.001.2100802
- [2] J.H Lee, J.W Lee, L.Yin, W.J.Shin and B.Clerckx, "Coordinated Rate-Splitting Multiple Access for Intergrated Satellite-Terrestrial Networks with Super-Common Message", IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 73, no. 2, pp.2989-2994 Feb, 2024 DOI : 10.1109/TVT.2023.3318646
- [3] H. Ai-Hraishawi, H.Chougrani, S.Kisseleff, E.Lagunas and S.Chatzinotas, "A Survey on Nongeostationary Satellite Systems : The Communication Perspective" in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 25, no. 1, pp. 101-132, First Quarter, 2023, DOI : doi.org/10.1109/COMST.2022.3197695
- [4] S. Chan, H. Lee, S. Kim and D. Oh, "Intelligent Low Complexity Resource Allocation Method for Integrated Satellite-Terrestrial Systems," in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 11, no. 5, pp. 1087-1091, May 2022, DOI : 10.1109/LWC.2022.3157062.
- [5] H.J.Noh, K.C.Go, K.H.Lee, J.H.Kim, J.S.Lim and Y.J.Song, "Resource Allocation and IP Networking for Next Generation Military Satellite Communications System", J. KICS, Vol.38C, Issue 11, pp.939-954, October, 2013, DOI: 10.7840/kics.2013.38C.11.939
- [6] J.Wiss, R.Gupta, "The WIN-T MF-TDMA network centric waveform", IEEE MILCOM, October, 2007, doi : 10.1109/MILCOM.2007.4454797
- [7] ETSI, "Digital Video Broadcasting(DVB); Interaction channel for satellite distribution systems", ETSI EN 301 790 V1.5.1, May, 2009
- [8] JI.Mohammed and T.Le-Ngoc, "Perforamance analysis of combined free/demand assignment multiple access(CF-DAMA) protocol for packet satellite communications", IEEE ICC, Vol.2, pp.869-873, 1994, DOI: 10.1109/ICC.1994.368973
- [9] T.Le-Ngoc and JI.Mohammed, "Combined free/demand assignment multiple access(CF-DAMA) protocols for packet satellite communications", IEEE ICC, Vol.2, pp.824-828, 1993, DOI: 10.1109/ICUPC.1993.528494
- [10] S.H. Lee, M.W. Lee and J.S. Lim "A Virtual Allocation Based Dynamic Assigned Multiple Access Scheme in Multi-Frequency TDMA Satellite Networks", JKICS, vol. 43, No.02, pp.219-226, Febuary, 2018, DOI: 10.7840/kics.2012.37C.11.1138
- [11] M.W.Lee, H.K.Baek and J.S.Lim "Fast Multiple Access Access Scheme for Satellite Networks Using Control Channels", 2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC), pp. 213-217, Jeju, Korea, October, 2019, DOI: 10.1109/ICTC46691.2019.8939939.
- [12] N.H. Park, J.H. Han and K.M Han, "Resource Allcoation Information Sorting Algorithm Variable Selection Scheme for MF-TDMA DAMA Satellite Communication System", Journal of Korea Academia-Industrial cooperaion Society, Vol. 21, No 2. pp.1-7, 2020, DOI: 10.5762/KAIS.2020.21.2.1
- [13] F.Fourati, M.S.Alouini, "Artificial intelligence for satellite communication: A review", Intelligent and Converged Networks, vol.2(3), pp. 213-244, July, 2021, DOI: 10.23919/ICN.2021.0015
- [14] Quen.H, Zheng.X and Peng.R, "A General Framework of LTSM and Transfer Learning Based CFDAMA Strategy in Broadband Satellite System", Journal of Web Engineering. Vol.20(2), pp.321-458, March 2021, DOI: 10.13052/jwe1540-9589.2029
- [15] Qiang.H, Zheng.X and Peng.P "A CLSTM and transfer learning based CFDAMA strategy in satellite communication networks, PLoS One 16(3), March, 2021, DOI: 10.1371/journal.pone.0248271
- [16] A. J. Roumeliotis, C. I. Kourogiorgas and A. D. Panagopoulos, "An Optimized Simple Strategy for Capacity Allocation in Satellite Systems With Smart Gateway Diversity," in IEEE Systems Journal, vol. 15, no. 3, pp. 4668-4674, Sept. 2021, DOI: 10.1109/JSYST.2020.3016965

## Authors



Su-Hoon Lee received B.S and M.S. in Computer Science and Engineering from Korea University Technology and Education and Ajou University, Korea in 2014, and 2018, respectively.

Mr. Lee joined KRIT, Gyoung-Nam, Korea, in 2022. He is currently a Researcher in the Department Budget Planning. He is interested in program component localization(C4I, Warfare network).