

# 다중 주파수 시분할다중접속 위성 네트워크에서 가상할당 기반의 동적할당다중접속 기법

이 수 훈\*, 이 민 우\*, 임 재 성<sup>o</sup>

## A Virtual Allocation Based Dynamic Assigned Multiple Access Scheme in Multi-Frequency TDMA Satellite Networks

Suhoon Lee\*, Minwoo Lee\*, Jaesung Lim<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문은 위성 네트워크에서 모든 단말에 가상으로 자원을 할당하여 데이터를 전송하는 VADAMA(Virtual Allocation Demand Assigned Multiple Access)를 제안한다. 기존의 위성 네트워크 표준의 자원할당 기법인 DAMA(Demand Assigned Multiple Access)는 데이터를 전송하기 전에 NCC(Network Control Center)로 제어 메시지를 송신하기 때문에 약 500ms의 지연시간이 발생한다. 그래서 버스트 트래픽 환경에 DAMA 기법을 적용하면 버스트 단위로 제어 메시지를 송신하기 때문에 네트워크 성능이 저하되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서 CFDAMA(Combined Free Demand Assigned Multiple Access)가 제안되었으나 트래픽 로드가 적을 때에만 효용성이 있었다. 본 논문에서는 위성 자원을 단말들에게 가상으로 할당하여 송신 단말과 수신 단말이 NCC의 제어 없이 데이터 전송 채널을 결정할 수 있게 함으로써 지연시간을 줄였다. 또한, 모의실험을 통해서 기존의 기법에 비교해 제안하는 기법의 성능이 향상되었음을 확인하였다.

**Key Words** : DAMA, CFDAMA, Demand Access, MF-TDMA, Satellite Network

### ABSTRACT

In this paper, we propose VADAMA (Virtual Allocation Demand Assigned Multiple Access) which allocates virtually resources to all terminals in a satellite network and transmits the data. The DAMA (Demand Assigned Multiple Access), which is the resource allocation technique of the existing satellite network standard, causes a delay time of about 500 msec since it transmits a control message to the NCC (Network Control Center) before data is transmitted. Therefore, if it is applied to the burst traffic environment, the control message is transmitted in units of bursts, which degrades network performance. In order to solve this problem, CFDAMA (Combined Free Demand Assigned Multiple Access) has been suggested, but only be effective in low traffic load. In this paper, the delay time is reduced by virtually allocating the satellite resources to the terminals so that the transmitting terminal and the receiving terminal can determine the data transmission channel without controlling the NCC. Furthermore, we have confirmed through simulations that the performance of the proposed scheme is improved compared to the existing scheme.

※ 본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2016R1A2A1A05005541)

♦ First Author : (ORCID:0000-0002-6300-2412)Ajou University Graduated School of Software, justycomet@ajou.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-0080-9398)Ajou University Department of Software, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

\* (ORCID:0000-0001-7109-4700)Cyber Command, iminu@ajou.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-12-394, Received December 20, 2017; Revised January 8, 2018; Accepted January 8, 2018

## I. 서 론

위성 네트워크는 광범위한 통신 반경을 제공하며, 통신 기반이 없는 곳에서도 고속의 데이터 통신 서비스를 제공할 수 있다. 위성 네트워크에 전송되는 데이터 종류도 음성, 텍스트에서 멀티미디어로 변화했으며 위성 방송, 인터넷 등 그 서비스가 다양해지고 규모도 커지고 있다<sup>1,2</sup>.

특히 위성 네트워크는 국가재난통신망, 국방 분야의 주요 작전·지휘 통제 망으로 사용되고 있다. 이들 특수 목적의 위성 네트워크에서는 안정적인 데이터 전송이 매우 중요하다. 하지만 위성은 운용비용이 크기 때문에, 위성 자원인 통신 채널의 이용 효율을 극대화하는 자원 할당 기법을 사용해야 한다.

기본적으로 위성 통신의 자원 할당 기법에는 고정 할당 방식인 FAMA (Fixed Assigned Multiple Access)와 요구 할당 방식인 DAMA (Demand Assigned Multiple Access)가 있다

FAMA 방식은 위성 단말이 네트워크에 로그인할 때 NCC (Network Control Center)가 위성 단말이 사용할 자원을 고정적으로 사전에 할당하는 방식이다. FAMA 기법은 한정된 자원을 고정적으로 할당하기 때문에 통신 자원의 효율적인 사용이 제한되며, 특히 버스트 트래픽 환경에서는 자원 이용률이 떨어지는 단점이 있다<sup>3</sup>.

이에 반해 DAMA 방식은 위성 단말이 데이터를 전송할 때마다 필요한 자원을 NCC에게 요청한 후 NCC 통제에 따라 자원을 할당받아 데이터를 전송하는 방식이다. 단말이 데이터 전송이 필요한 경우에만 자원을 요구하고 자원을 할당받기 때문에 자원 이용 효율이 FAMA에 비해서 높다. 그러나 위성 네트워크의 특성상, 긴 지연시간과 자원할당을 위한 제어 메시지 교환으로 인해 버스트 트래픽에서는 데이터 전송 효율이 감소하는 문제점이 있다<sup>4</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해 CFDAMA (Combined Free Demand Assigned Multiple Access) 기법이 제안되었다<sup>5,6</sup>. CFDAMA는 단말의 위성 자원을 할당할 때, 요구 할당 이외에 위성 자원에서 남은 자원 (Free Slot)을 추가로 할당해 주는 기법이다. 이로써 단말은 추가로 할당 받은 자원을 이용하여 전송 지연 시간의 지터 (jitter)를 개선하고, 버스트 트래픽에 대한 자원 이용률을 개선할 수 있다. 그러나 버스트 트래픽의 하이 트래픽 로드 환경에서는 프리 슬롯의 기여도가 감소하고 대부분 자원을 낭비하게 된다.

또한, 정지궤도 위성으로 구성된 위성 네트워크 환경에서 요구할당 기법은 자원 요구 - 자원 할당 - 데이터 전송의 과정이 지상의 단말과 우주 공간의 위성체, 그리고 지상의 NCC를 거치기 때문에 2홉의 지연 (약 500ms)이 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해, 기존의 CFDAMA 기법을 개선한 가할당 DAMA (Virtual Allocation DAMA) 기법을 제안한다. 이 기법은 모든 단말에 대한 가할당 (Virtual Allocation) 정보를 사전에 정의하고, 단말에서 NCC로 자원 할당 요구 메시지를 전송하는 전용 채널인 AROW (Assigned Return Order Wire)를 사용하여, 단말과 단말 간 데이터 전송이 가능한 방법이다. 이로써, 각 단말에서는 NCC의 자원 할당 없이 가할당 정보만으로 1홉의 데이터 전송이 가능하기 때문에 신속하게 데이터를 전송할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MF-TDMA 위성 프레임 구조와 CFDAMA 기법을 소개하고, 3장에서는 VADAMA 기법의 자원 할당 과정과 단말 간의 데이터 전송 충돌 방지 방안을 제시하였다. 4장에서는 모의실험을 통해 CFDAMA 기법과 VADAMA 기법의 데이터 전송 지연시간, 지연시간 지터, 버스트 처리율, 자원 할당 성공률을 비교하여 제안 기법의 성능 향상을 확인하였다. 끝으로, 5장에서 본 연구의 결론과 향후 연구 계획을 기술하며 끝을 맺는다.

## II. 시스템 모델 및 CFDAMA 기법

### 2.1 시스템 모델

ETSI (European Telecommunication Standard Institute)의 DVB-RCS (Digital Video Broadcast - Return Channel via Satellite)의 표준에 따르면, MF-TDMA는 그림 1과 같은 계층적인 프레임 구조로 되어 있다. 슈퍼 프레임 (Super Frame)은 위성 자원의 가장 최상위 단위로 근접하지 않은 채널에 할당된 최상위 프레임으로 여러 개의 하위 프레임 (Sub Frame)으로 구성되어 있다. 각 프레임은 단말이 데이터를 전송할 때 사용하는 타임 슬롯들로 이루어져 있다.

위성 네트워크에서는 데이터 전송 채널과 제어 메시지 전송 채널을 구분해서 사용하고 있으며 미군의 군용 위성통신 기술인 WIN-T (Warfighter Information Network-Tactical)에서는 데이터 전송채널과 제어 메시지 채널을 다음과 같이 구분하고 있다<sup>7</sup>.

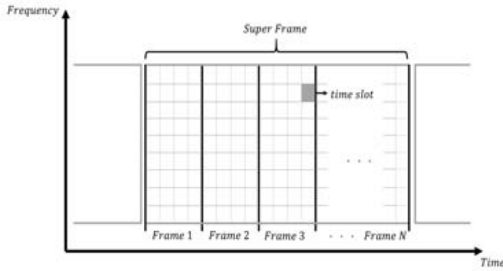


그림 1. MF-TDMA 프레임 구조  
Fig. 1. Frame structure of MF-TDMA

- TRF (Traffic) : 데이터 전송에 사용하는 채널
- FOW (Forward Order Wire) : NCC가 모든 단말에 데이터를 전송하는 방송 채널
- AROW (Assigned Return Order Wire) : 단말이 NCC에게 자원 할당을 요구하는 전용 채널
- CROW (Contention Return Order Wire) : 단말이 네트워크에 로그인할 때 AROW를 할당받기 위한 제어 메시지를 NCC에게 보내는 랜덤 액세스 채널

### 2.2 DAMA 기법의 자원 할당 과정

DAMA 기법을 이용한 위성 통신 자원의 할당 과정은 다음과 같다. 먼저, NCC와 모든 단말들은 NCC의 시간을 기준으로 동기화된다. 각 단말에서는 이미 할당받은 AROW 채널을 이용하여 NCC에 자원 할당을 요구한다. NCC에서는 각 단말들의 자원 할당 요구를 종합하여 일련의 알고리즘에 의해 자원 할당표를 작성하는데, 이것을 TBTP (Time Burst Terminal Plan)라고 한다. TBTP는 FOW 채널을 통해 NCC에서 모든 단말들에 전송이 되고, 각 단말은 TBTP에 따라 정해진 시간에 채널을 맞춰 데이터를 전송하게 된다. 이러한 일련의 절차는 그림 2에 나타나 있다<sup>8)</sup>.

그림 2에서 보듯이, NCC 중심의 성형 (Star Topology) 위성 네트워크에서는 단말이 데이터를 송신하기 위해서는 자원 요청부터 TBTP 수신까지는 두

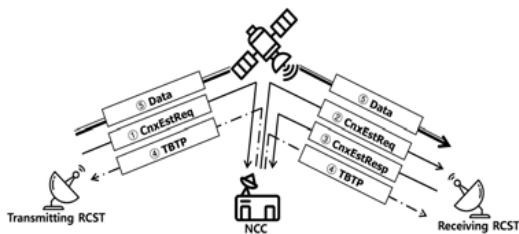


그림 2. DAMA 자원 할당 과정  
Fig. 2. Resource allocation process in DAMA

번의 라운드 트립 타임 또는 2홉의 시간이 지연된다. 이 때문에 트래픽의 특성이 버스트 한 경우에는 자원 이용률이 떨어지게 된다.

### 2.3 CFDAMA 기법

CFDAMA 기법은 2홉의 전송지연 시간 환경을 고려하여 DAMA 기법에서 발생하는 프리 슬롯들의 이용률을 개선하기 위해 제안되었다<sup>3,4)</sup>. CFDAMA는 DA (Demand Allocation) 방식과 FA (Free Allocation) 방식을 결합한 기법이다. 우선 DA 방식은 기존의 DAMA와 같이 단말이 자원을 요청하면 NCC가 자원을 할당한다. NCC는 단말들의 DA로 요구한 자원들을 할당하고 남은 자원, 즉 프리 슬롯들은 FA 방식으로 단말들에 추가로 할당한다. 이렇게 추가로 할당된 프리 슬롯은 단말에서 발생하는 버스트 트래픽을 처리하는 데 도움이 된다.

프리 슬롯을 할당하기 위해 CFDAMA 기법의 FA 방식은 다양한 방법으로 구현될 수 있다. 모든 단말들에게 순차적으로 프리 슬롯을 나눠주는 방식인 CFDAMA-RR (Round Robin), 프리 슬롯의 추가 할당 여부를 선택하는 CFDAMA-PB (Piggy Backed)<sup>9)</sup>, 그리고 FA 자원을 경쟁에 의해 랜덤 액세스하는 CFDAMA-RAR (Random Access Request)<sup>10)</sup> 방식이 있다.

하지만, 자원 요구에서 데이터 전송까지 소요되는 2홉의 전송지연 시간 때문에, FA 할당은 단말의 자원 요구를 신속하게 반영하지 못한다. 이 때문에 트래픽의 부하가 증가할수록 프리 슬롯이 사라지면, CFDAMA는 DAMA와 같은 성능을 갖게 된다.

그래서 본 논문에서는 2홉의 전송지연 시간을 줄이기 위한 방법으로, AROW를 이용한 전송요구, 그리고 가할당 정보를 이용하여 1홉으로 신속하게 데이터를 전송하는 VADAMA 기법을 다음 장에서 설명한다.

## III. 제안 기법

본 논문에서 제안하는 VADAMA 기법은 모든 단말에 대한 가할당 정보를 사전 정의하고, 단말에서 NCC로 전송하는 전용 채널인 AROW (Assigned Return Order Wire)를 사용하여, 1홉으로 단말과 단말 간 데이터 전송이 가능한 방법이다.

### 3.1 VADAMA 기법의 가할당 정보

VADAMA는 위성 단말인 RCST (Return Channel

Satellite Terminal)가 위성 네트워크에 로그인하면서 NCC에 제공하는 정보를 바탕으로 만들어지는 가할당 (Virtual Allocation) 정보를 사용한다. 가할당 정보는 TBTP 내부에 포함되며 RCST의 가할당 자원 영역을 인식하는 용도로 사용된다. 또한, 가할당 정보는 데이터 전송 채널 통보 메시지에 포함된 데이터 전송 채널 정보를 결정하는 기준이 된다.

가할당 정보는 네트워크 로그인 단계에서 RCST의 요구량을 기준으로 NCC가 자원을 각 RCST에게 가상으로 할당해 주면서 형성된다. VADAMA에서 각 RCST가 NCC로부터 할당받는 가할당 용량  $V_n$ 의 산출 방식은 다음과 같다. 먼저, RCST의 수를  $T$ , 위성의 전체 자원량을  $R$ , RCST의 요구량을  $B_n$ , 가할당 후 남은 위성 자원량을  $S$ 라고 하자. 이때, 가할당 후 남은 위성 자원량  $S$ 는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$S = \begin{cases} R - \sum_{i=1}^T B_i, & R - \sum_{i=1}^T B_i > 0 \\ 0, & R - \sum_{i=1}^T B_i \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

그러면, ID가  $n$ 인 RCST가 할당받는 가할당 용량  $V_n$ 은 다음 (2)식에 의해서 산출된다.

$$V_n = B_n + \frac{S}{T} \quad (2)$$

식 (1)에서 보듯이, 가할당 후 남은 위성 자원량  $S$ 는 상황에 따라 없을 수도 있다.  $S=0$ 인 경우에는, 가할당을 받은 RCST를 Primary RCST, 가할당을 받지 못한 RCST를 Secondary RCST로 구분한다.  $S>0$ 인 경우에는, 모든 RCST들이 가할당을 받으며,  $S$ 는  $T$ 개인 모든 RCST들에게 균등하게 분배된다.

### 3.2 VADAMA 기법의 데이터 전송

전통적인 CFDAMA에서의 AROW 역할과 달리 VADAMA에서는 AROW 채널의 용도가 추가된다. 기존의 CFDAMA에서는 AROW 채널을 가지고 있는 RCST가 NCC에 독점적으로 제어 메시지를 송신하는 용도로만 사용되었지만, VADAMA에서는 AROW 채널을 NCC에 메시지 전송을 하지 않을 때는 수신용으로 전환하여, 다른 RCST에서 보내는 제어 메시지를 수신하는 용도로도 사용한다. 이러한 용도를 위해, 송신 RCST가 데이터를 받는 수신 RCST에게 송신을 통보하는 메시지인 전송 채널 통지 (CHInfoNotify)를

정의한다. 전송 채널 통지 메시지에는 송신 RCST가 수신 RCST에게 데이터 전송에 사용할 전송 채널 정보와 필요 자원량 정보를 포함하고 있다.

VADAMA에서는 Primary RCST와 Secondary RCST는 다른 데이터 전송 과정을 가진다. Secondary RCST는 기존의 DAMA와 같이 NCC의 제어를 받아 데이터를 전송하지만, Primary RCST의 데이터 전송은 송수신 RCST가 직접 데이터 전송에 필요한 제어 정보를 각자 보유한 AROW 채널에서 교환한 뒤에 데이터를 전송한다.

그림 3은 VADAMA의 Primary RCST가 데이터를 전송할 때 수행하는 자원할당 과정을 보여준다. 송신 RCST는 데이터를 전송할 때 TBTP 내부의 가할당 정보와 기존의 TBTP 정보인 실행할 정보를 확인한다. 어떤 Primary RCST에서 TBTP 정보를 확인 결과, 자신의 가할당 자원을 다른 RCST가 사용 중이면, 그 Primary RCST는 자신의 가할당 자원을 사용할 수 있도록 NCC에게 자원 요청 메시지를 송신한다. NCC는 Primary RCST로부터 자원 요청 메시지를 받으면 해당 가할당 자원을 사용하고 있는 RCST에게는 새로운 자원을 할당해주고, Primary RCST에게는 가할당 자원을 할당해준다.

반면, 어떤 Primary RCST에서 TBTP 정보를 확인 결과, 자신의 가할당 자원을 사용 중인 다른 RCST가 없어서 사용이 가능한 상태이면, 이 Primary RCST를 송신 RCST라고 하자. 그리고 이 송신 RCST가 데이터를 보내고자 하는 목적지를 수신 RCST라고 하자. 송신 RCST는 수신 RCST의 가할당 정보를 확인하고 수신 RCST의 가할당 자원이 다른 RCST에서 사용 중인지 확인한다. 이때, 수신 RCST의 가할당 자원을 사용하고 있는 다른 RCST가 없으면, 송신 RCST는 수신 RCST의 AROW 채널을 통해 전송 채널 정보 통지(CHInfoNotify) 메시지를 NCC와 수신 RCST에 동시 전송한다.

수신 RCST는 전송 채널 정보 통지 메시지를 받고, 이에 대한 응답 메시지(CHInfoNoify ACK)를 송신

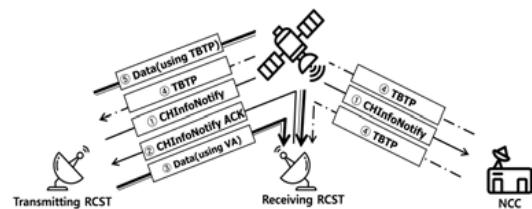


그림 3. Primary RCST 데이터 전송 과정  
Fig. 3. Procedure of Primary RCST data transmission

RCST에게 전송한다. 송신 RCST는 수신 RCST로부터 응답 메시지를 수신하면 자신의 가할당 자원을 통해 수신 RCST에게 데이터 전송을 시작한다. 이때, 송신 RCST와 수신 RCST 사이의 데이터 전송은 가할당된 자원을 이용하기 때문에 전통적인 DAMA의 2홉이 아닌 1홉으로 수립된 것이므로 데이터 신속한 데이터 전송이 구현된다.

이와 동시에, NCC는 송신 RCST로부터 전송 채널 정보 통지 메시지를 받으므로, 메시지 내부에 기재된 필요 자원량과 송신 RCST가 결정한 데이터 채널의 자원량을 비교하여 추가 할당 여부를 결정한다. 그 결과, 추가 할당이 필요 없으면 TBTP에 송신 RCST가 결정한 데이터 채널의 자원량을 그대로 수용하고, 추가 할당이 필요할 때에는 NCC가 데이터 채널을 새로 결정하여 결정한 채널 정보를 TBTP에 기재하여 모든 RCST에게 방송한다. 이렇게 새로 결정된 TBTP가 수신되면, 송신 RCST와 수신 RCST는 가할당 자원에서 새로운 TBTP 기준으로 데이터를 전송한다.

### 3.3 AROW 채널 충돌 시 조치 방안

VADAMA에서는 각 RCST의 AROW 채널을 데이터를 송신하고자 하는 RCST들의 제어 메시지를 수신하는 용도로 사용하기 때문에 다음과 같은 경우에 제어 메시지의 충돌이 발생할 수 있다.

첫째, 수신 RCST가 NCC로 제어 메시지를 전송할 때 다른 송신 RCST에서 AROW로 제어 메시지를 전송하는 경우이다. 이 경우에는 NCC에서 수신 RCST로부터 제어 메시지를 받지 못하므로 수신 RCST의 요구가 반영되지 못한다. 이 때 수신 RCST는 다음 프레임에 재전송을 한다.

둘째, 하나의 슈퍼 프레임에서 두 개 이상의 송신 RCST들이 하나의 수신 RCST에게 AROW 채널을 이용하여 데이터 채널 통보 메시지를 보내는 경우이다. 이 경우 수신 RCST는 데이터 채널 통보 메시지를 받지 못하게 되므로 송신 RCST들은 응답 메시지를 받지 못한다. 이 경우에는 2개 이상의 송신 RCST에서 하나의 수신 RCST의 AROW 채널에 제어 메시지를 송신한 것이므로, 다음 프레임에서 또 다시 충돌이 발생하지 않도록 그림 4와 같은 AROW 채널 랜덤 백 오프 (Random Back Off) 절차를 제안한다. 각 송신 RCST는 제어 메시지에 대한 응답 메시지를 받지 못하면, 대기시간  $W$  만큼을 기다린다. 최대 대기시간  $W_{max}$  를 기다려도 수신 RCST로부터 응답 메시지를 받지 못하면, 각 송신 RCST는 임의의 다른 시간을 추가 대기한 후, 제어메시지를 재전송을 수행한다.

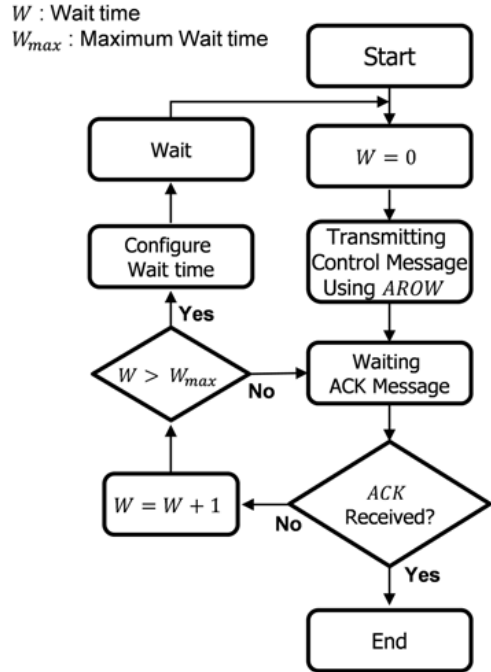


그림 4. AROW 채널 랜덤 백 오프 절차  
Fig. 4. Procedure of AROW Random Back Off

## IV. 모의실험

### 4.1 모의실험 환경

본 논문에서는 모의실험을 통해 CFDAMA 기법과 VADAMA 기법의 데이터 전송 지연시간, 지연시간 지터, 버스트 처리율, 자원 할당 성공률을 비교하여 제안 기법의 성능 향상을 확인하였다.

모의실험에 사용된 파라미터 값은 표 1과 같다. 프레임 길이와 채널은 DVB-RCS에서 정의한 값을 사용하였다. 각 단말별로 랜덤하게 버스트 트래픽을 발생시키고 이에 대한 처리를 각 기법의 알고리즘대로 수행하였다. 트래픽 버스트의 도착 시간을 Poisson 분포를 따르도록 하였으며, 트래픽 부하가 증가할수록 버스트 트래픽의 도착 시간을 줄여가면서 트래픽 부하를 조정하였다.

VADAMA에서 Primary RCST들의 전송에 따른 이득을 확인하기 위해서 NCC에서 가할당을 수행하는 자원의 양( $\Phi$ )을 전체 자원에서 25%씩 감소시키면서 모의실험을 수행하였다.  $\Phi$ 의 값이 감소할수록 Primary 단말의 수는 줄어들고 Secondary 단말의 수는 증가함으로써 Primary 전송에서 얻는 이득을 확인할 수 있도록 하였다.

표 1. MATLAB 시뮬레이션 파라미터 표  
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 ( $\lambda = 5\text{frame} \sim 30\text{frame}$ )
Normalized Traffic load	0.1~1.0
Number of Simulation ( $N_s$ )	100000
Simulation time	1000 frame
Virtual allocation allowable resource rate ( $\phi$ )	25%, 50%, 75%, 100%,
Round trip time	270ms

4.2 모의실험 결과

그림 5는 지연시간을 하나의 버스트를 전송하기 위해서 위성 자원을 요청한 시간부터 데이터 전송이 끝난 시간까지 걸리는 지연시간을 측정한 것이다. DAMA의 경우 자원 할당 요구에서 데이터 전송까지 2홉의 전송지연 시간이 소요된다. 그래프를 보면 트래픽 로드가 낮은 0.1 ~ 0.4까지는 0.56 정도의 지연시간이 걸리다가 트래픽 로드가 높아질수록 대기 큐에서 대기하는 전송 요청이 증가하면서 평균 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수가 있다. 이에 반해, CFDAMA-RR의 경우 지연 시간이 적을 때에는 프리슬롯의 추가 할당으로 인한 이득이 나타남을 알 수가 있다. 약 0.27ms 정도의 평균 지연시간이 가진다고 측정되나 0.4~0.7까지의 트래픽 로드에서는 프리슬롯을 받는 RCST의 수가 감소하면서, 트래픽 로드가 높

아질수록 DAMA의 성능에 수렴하는 실험값으로 측정되었다.

기존의 기법에 비해서 VADAMA 기법은 모든 위성 자원에 대해서 가할당을 수행하여 Primary 단말의 수가 최대일 때, 가장 짧은 지연시간을 소비한 후 데이터 전송을 시작하는 것으로 측정되었다. 이는 가할당 자원을 할당받은 Primary 단말의 수가 최대가 되어 Primary 전송 과정을 거치는 데이터 전송이 전체 데이터 전송 중에 다수를 차지하기 때문이다. 그래서  $\phi$ 값이 낮아질수록 Primary 단말의 수가 줄어들어 따라 DAMA의 지연시간으로 수렴하는 성능값이 나타남을 그림 5의 그래프를 통해 확인할 수 있다.

그림 6은 모든 버스트들이 걸린 지연시간의 평균에 대한 편차를 지연시간 지터(jitter)로 정의해서 측정한 그래프이다. DAMA와 CFDAMA-RR 기법에서는 트래픽 부하가 증가할 갈수록 대기 큐에서 대기하는 트래픽도 증가하면서 트래픽 로드 0.5부터 지연시간의 편차가 나타난다. CFDAMA는 트래픽 부하가 증가함에 따라 DAMA 대비 평균 20%의 효율을 보이다가 DAMA의 지연시간 지터에 수렴하는 값으로 측정되었다. 이에 비해 VADAMA는 최대 효율이 DAMA 대비 평균 40% 정도 낮은 지터값을 기록하면서 트래픽 로드가 높아져도 유지되었다.

그림 7은 모의실험 시간 동안 생성된 트래픽과 전송이 완료된 트래픽 간의 비율을 트래픽 처리율로 정의하여 측정한 그래프이다. 지연 시간에서 얻는 이득은 트래픽 전송 처리율에도 그대로 나타난다. 지연 시간이 2홉에서 1홉으로 낮아져서 단말들이 데이터 전송이 빨리 끝남에 따라 같은 시간 기준으로 전송이 완료되는 트래픽의 수가 증가하였다. 그 결과 낮은 트래픽 로드에서는 하이 트래픽 로드 환경에서의

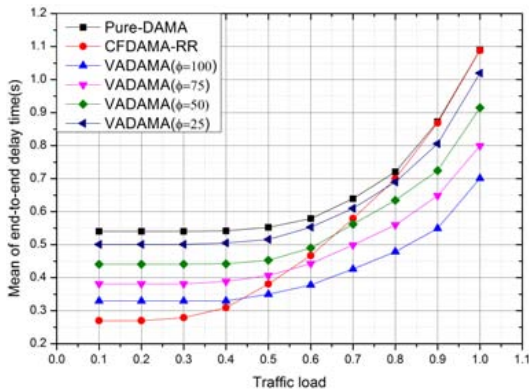


그림 5. 각 기법 별 평균 지연 시간 그래프  
Fig. 5. Graph of mean of end-to-end delay time per each scheme

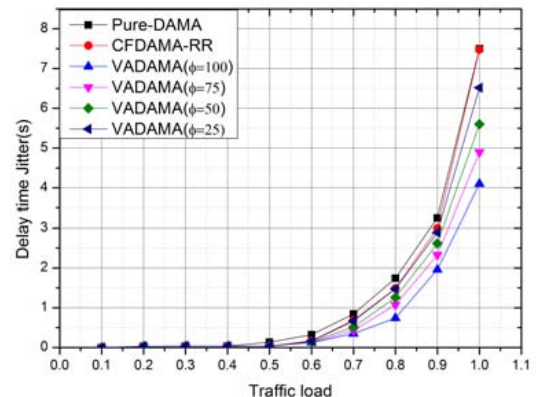


그림 6. 각 기법 별 지연시간 지터 그래프  
Fig. 6. Graph of delay time jitter per each scheme

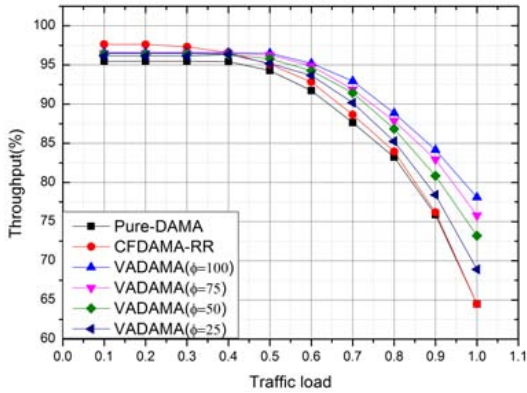


그림 7. 각 기법 별 트래픽 처리율 그래프  
Fig. 7. Graph of Traffic throughput per each scheme

VADAMA의 처리율과 DAMA와 CFDAMA-RR의 처리율이 최대 약 15% 차이를 보이고 있다.

그림 8은 각 단말들이 트래픽을 전송하고자 자원을 요청할 때 자원 할당에 실패해서 대기 큐에 대기하지 않고 한 번의 요청에 자원을 할당 받은 성공 비율을 측정한 그래프이다. 지연시간으로 인한 이득으로 각 단말이 자원을 점유하고 있는 시간이 줄어들면서 자원 할당 성공률이 올라간다. CFDAMA-RR, DAMA는 그 비율이 0.5~1% 차이를 보이고 있으나 VADAMA는 Primary RCST의 트래픽 전송에 대해서는 대기 큐에 가지 않고 바로 처리하면서 이에 대한 성공률이 5~10% 정도의 이득을 나타내었다.

이상의 모의실험 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 VADAMA 기법이 트래픽 부하가 높아지더라도 기존의 기법보다 적은 지연 시간을 보장하는 것을 확인할 수 있었다.

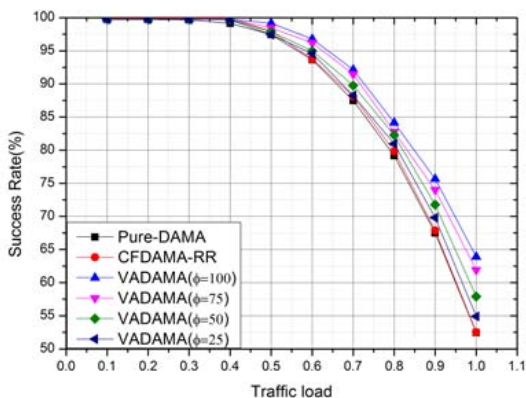


그림 8. 각 기법 별 자원 할당 성공률  
Fig. 8. Graph of success rate of resource allocation per each scheme

## V. 결론

본 논문에서는 위성 네트워크에서 각 단말들에게 위성 자원 정보를 가할당하여 NCC의 제어를 받지 않고 단말 간 제어 데이터 통신을 통해 데이터 전송을 하는 VADAMA 기법을 제안하였다.

이를 위해 기존의 송신 전용 AROW 채널을 각 단말 간 제어 메시지 채널로 사용하였다. 그리고, 이에 따라 발생 가능한 제어 메시지 충돌 문제는 랜덤 백오프 기법으로 회피하였다.

시뮬레이션을 통한 DAMA, CFDAMA-RR, VADAMA와의 성능 비교를 통해, VADAMA 기법이 NCC의 제어 없이도 단말 간의 제어 메시지 교환으로 데이터 전송이 가능함으로 보였다. 이를 통해 지연시간이 기존의 기법보다 줄었으며, 지연시간 이득에 따른 데이터 처리율, 위성 자원 할당 성공률, 지연 시간 지터 부분에서도 큰 이득이 있음을 확인하였다.

VADAMA 기법은 하이 트래픽 로드 환경에서 안정적인 자원할당을 신속하고 효율적으로 보장하는 기법이다. 이 기법은 매우 효과적으로 자원을 이용하고 할당하는 기법으로 위성 네트워크에 기여할 것이다. 향후, 가할당을 수행하는 자원량을 네트워크 환경에 맞게 최적의 값을 산출할 수 있는 연구가 수행된다면 더욱 효율적인 자원 할당 기법이 될 것이다.

## References

- [1] 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, no. 11, pp. 939-954, Oct. 2013.
- [2] B. G. Evans, P. T. Thomson, G. E. Corazza and E. A. Candrea, "1945-2010:65 years of satellite history from early visions to latest missions," in *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 11, pp. 1840-1857, Nov. 2011.
- [3] M. K. Park, M. S. Shin, H. H. Hong, D. I. Chang and D. G. Oh, "Link layer technologies for DVB-RCS NG," *ETRI*, vol. 25, no. 2, Apr. 2010.
- [4] Y. S. Lee, J. S. Lee, J. S. Lim, H. W. Park and H. J. Noh, "Multiple slot reservation for rapid data traffic transmission in the satellite random access channel," *J. KICS*, vol. 40, no.



- 10, pp. 1889-1899, Sept. 2015.
- [5] JI. Mohammed and T. Le-Ngoc, "Performance analysis of combined free/demand assignment multiple access(CF-DAMA) protocol for packet satellite communications," *IEEE ICC*, vol. 2, pp. 869-873, New Orleans, USA, May 1994.
- [6] 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, Ottawa, Canada, Oct. 1993.
- [7] J. Wiss and R. Gupta, "The WIN-T MF-TDMA mesh network centric waveform," *IEEE MILCOM 2007*, Orlando, USA, Oct. 2007.
- [8] ETSI, "Digital Video Broadcasting(DVB); Interaction channel for satellite distribution systems," *ETSI EN 301 790 V1.5.1*, May 2009.
- [9] T. Le-Ngoc and I. M. Jahangir, "Performance analysis of CFDAMA-PB protocol for packet satellite communication," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 9, pp. 1206-1214, Sept. 1998.
- [10] P. D. Mitchell, D. Grace and T. C. Tozer, "Comparative performance of the CF-DAMA protocol via satellite with various terminal request strategies," in *Proc. GLOBECOM 2001*, vol. 4, pp. 2720-2724, San Antonio, USA, Nov. 2001.

**이 수 훈 (Suhoon Lee)**



2014년 8월 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학 학사  
 2015년 2월~현재 : 아주대학교 소프트웨어특성화대학원 석사과정  
 <관심분야> 위성 통신, 무선네트워크

**이 민 우 (Minwoo Lee)**



1998년 3월 : 한국항공대학교 공통신정보공학과 학사  
 2013년 2월 : 아주대학교 NCW학과 박사졸업  
 2017년 1월~현재 : 국군사이버사령부 핵심기술연구팀장

<관심분야> 위성통신, 사이버-물리체계

**임 재 성 (Jaesung Lim)**



1983년 2월 : 아주대학교 전자공학 학사  
 1985년 2월 : KAIST 영상통신 석사  
 1994년 2월 : KAIST 디지털통신 박사  
 1998년 3월~현재 : 아주대학교 소프트웨어학과 정교수

2004년 3월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장

<관심분야> 위성통신, 무선네트워크, 국방전술통신