

위성 채널에서 데이터 트래픽의 신속한 전송을 위한 다중 슬롯 예약 기법

이 윤 성*, 이 진 석*, 임 재 성°, 박 형 원**, 노 홍 준**

Multiple Slot Reservation for Rapid Data Traffic Transmission in the Satellite Random Access Channel

Yun-sung Lee*, Jin-seok Lee*, Jae-sung Lim°, Hyung-won Park**, Hong-jun Noh**

요 약

본 논문은 위성 랜덤 액세스 채널에서 데이터의 신속한 전송을 위한 다중 슬롯 예약 기법을 제안한다. R-CRDSA(Reservation scheme with Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA)에서는 각 단말이 하나의 프레임에서 하나의 슬롯만을 예약하여 사용하기 때문에 트래픽 부하가 낮은 상황에서 많은 슬롯이 낭비되는 문제가 발생하고, 상대적으로 크기가 큰 데이터를 전송하려는 위성 단말은 사용되지 않는 슬롯이 있다고 하더라도 여러 개의 프레임을 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 지연시간이 증가한다. 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법에서 각 단말은 자신의 패킷과 함께 데이터의 크기를 함께 전송하며 각 단말에서 발생한 데이터의 크기와 슬롯 예약 상태를 고려하여 다수의 슬롯을 예약하여 데이터를 전송한다. 따라서 각 위성단말은 다수의 슬롯을 예약하여 데이터를 전송하기 때문에 기존 슬롯 예약 기반의 위성 랜덤액세스기법에 비해 적은 수의 프레임을 사용하여 자신의 데이터를 전송할 수 있다. 또한 본 논문은 모의실험을 통해 기존 슬롯 예약 기반의 위성 랜덤 액세스 기법 대비 제안 기법의 성능 향상을 확인하였다.

Key Words : Satellite Networks, Random Access, Framed Slotted ALOHA, CRDSA, R-CRDSA

ABSTRACT

In this paper, we propose a multiple slot reservation scheme to transmit data rapidly in the satellite random access channel. In the R-CRDSA (Reservation scheme with Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA), each satellite terminal can use only one slot in a frame. Therefore, many slots are wasting in the low traffic load and the satellite terminals which have large data needs many frame to transmit their data although there are unused slots. In the multiple slot reservation scheme, each satellite terminal transmits a packet with their data size and reserves many slots in the light of data size and slot reservation status. Therefore, each satellite terminal transmits their data faster than R-CRDSA. This is because they can reserve many slots in a frame. Furthermore, we simulate proposed scheme and validate the performance of proposed scheme.

※ 본 연구는 LIG 넥스원의 지원으로 수행되었습니다.

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013R1A2A1A01016423).

• First Author : Ajou University Department of Computer Engineering, majjang89@ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Computer Engineering, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

* 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학과, yangachy@ajou.ac.kr

** LIG넥스원 C41연구소 통신연구센터, {hongjun.noh, hyungwon.park}@lignex1.com

논문번호 : KICS2015-09-010, Received September 14, 2015; Revised September 30, 2015; Accepted September 30, 2015

I. 서 론

위성통신 네트워크는 위성통신의 넓은 통신 반경과 브로드캐스팅 특성을 활용하여 효율적인 통신서비스를 제공할 수 있다는 장점으로 인하여 꾸준히 수요가 증가하고 있다. 또한 군 통신에서 위성통신 네트워크의 역할은 초기 음성 통신 서비스에서 시작하여 최근에는 각종 데이터의 전송을 위한 데이터 통신으로 확대되고 있다. 위성 채널을 사용하는 방식은 크게 자원 할당을 통해 위성 채널을 사용하는 방식과 자원 할당 절차 없이 채널을 사용하는 랜덤 액세스 (Random Access) 방식으로 구분할 수 있다. 자원 할당 방식을 통해 위성 채널을 사용할 경우, 각 단말이 운용국과 자원 요청 및 할당을 위한 제어 메시지 교환을 통해 독립된 채널을 할당받고, 할당받은 채널을 통해 데이터를 전송하기 때문에 데이터 전송의 신뢰성을 보장할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 위성의 높은 고도로 인한 약 250ms의 긴 지연시간과 자원 할당을 위한 제어 메시지의 교환으로 인해 크기가 작고 간헐적으로 발생하는 데이터를 전송할 경우 효율이 감소한다는 단점이 있다. 이와 달리 랜덤 액세스 방식을 통해 위성 채널을 사용할 경우, 별도 자원 할당 절차 없이 데이터 발생 즉시 전송하기 때문에 제어메시지 교환으로 인한 지연시간을 줄일 수 있고, 별도 제어메시지의 메시지 교환 없이 데이터가 발생할 경우 즉시 데이터를 전송하기 때문에 크기가 작은 데이터를 효율적으로 전송할 수 있다. 하지만 랜덤 액세스 방식의 경우 패킷 간 충돌이 발생할 수 있기 때문에 처리율과 신뢰도가 매우 낮다는 단점이 있다^[1]. 초기 랜덤 액세스 기법인 Slotted ALOHA의 경우 최대 처리율이 0.36packets/slot으로 매우 낮아 데이터 전송 용도로는 사용하지 못하고 주로 초기 로그인 메시지의 전송 및 간헐적 트래픽의 전송을 위한 용도로만 사용하였다^[2].

이에 따라 위성 랜덤 액세스 기법을 통한 데이터 전송을 위해 위성 랜덤 액세스 기법의 처리율을 높이기 위한 연구가 진행되었다. 그 중 대표적인 향상된 랜덤 액세스 기법으로는 CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA)^[3] 와 IRSA (Irregular Repetition Slotted ALOHA)^[4]가 있다. 두 기법은 모두 Framed Slotted ALOHA기반의 랜덤 액세스 기법으로 복제 패킷전송과 간섭 제거 (Interference cancellation)기법을 통해 처리율을 향상시켰다. CRDSA의 경우 2개의 복제 패킷을 전송한 후, 간섭 제거 기법을 통해 처리율을 약 0.55 packets/slot까지 증가 시켰고, IRSA는 복제 패킷의

수를 가변하며 최대 처리율을 약 0.75packets/slot까지 증가 시켰다. 이와 같은 결과를 통해 CRDSA와 IRSA를 통해 랜덤 액세스 채널을 통한 데이터 전송의 가능성을 확인하였으며, 2012년 재정된 위성 통신 표준 DVB-RCS2 (Second Generation Digital Video Broadcasting Interactive Satellite System)^[5]부터 적용되어 배포되고 있다. 하지만 두 기법의 경우 최대 처리율 이상의 패킷이 유입될 경우, 과도한 복제 패킷으로 인해 오히려 패킷 간의 충돌이 증가하여 처리율이 급격히 감소한다는 단점이 있다^[6]. 2012년 제안된 R-CRDSA (Reservation scheme with Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA)^[7]는 슬롯 예약 기법을 통해 슬롯 예약에 성공한 단말은 더 이상 복제 패킷을 전송하지 않는 방식으로 복제 패킷의 수를 제어하여 최대 처리율을 향상 시켰다. 하지만 R-CRDSA의 경우 각 단말이 하나의 프레임에서 최대 하나의 슬롯만을 예약해서 전송 할 수 있다. 따라서 트래픽 부하가 낮은 환경에서는 다수의 슬롯이 낭비될 수 있으며, 크기가 큰 데이터를 전송하기 위해서는 사용되지 않는 슬롯이 있더라도 여러 프레임을 사용하여 데이터를 전송하여야 한다. 특히 군 통신에서는 플랫폼별 수집 및 전송하는 데이터 크기의 편차가 크게 발생하게 된다^[8-10]. 이처럼 소수의 단말이 대부분의 데이터를 전송하는 환경에서 R-CRDSA를 사용하여 데이터를 전송 할 경우, 효율성이 낮아지게 된다.

본 논문에서는 단말에서 발생한 데이터 크기의 편차가 큰 환경에서 각 단말에서 발생한 데이터 크기 및 채널 상태를 고려하여 데이터를 더욱 신속하게 전송하기 위한 다중 슬롯 예약 기법을 제안한다. 기존 R-CRDSA와의 가장 큰 차이점은 각 위성단말에서 발생한 데이터 크기와 현재 채널의 예약 상태를 고려하여 한 프레임에서 다수의 슬롯을 예약하여 데이터를 전송하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 기법에서 각 단말은 데이터의 크기 및 채널의 상태를 고려하여 최적 개수의 슬롯을 예약하여 데이터를 전송함으로써, 전송 지연 시간의 단축 및 채널 사용률의 증대를 가능하게 하였다.

II. 시스템 모델 및 랜덤 액세스 기법

2.1 시스템 모델

본 논문에서 각 위성 단말은 DVB-RCS표준의 MF-TDMA (Multi-frequency Time Division Multiple Access) 시스템을 사용하는 것으로 가정하였다. MF-TDMA 시스템에서 하나의 프레임은 제어 채널과

요구 할당 절차를 통해 사용하는 트래픽 채널 그리고 랜덤 액세스 기법을 통해 사용하는 트래픽 채널로 구분된다. 또한 위성채널은 네트워크의 운용국 (Network Control Center) 에 의해 관리 및 할당되며^[11], 각 위성단말은 랜덤 액세스를 위해 운용국에게 슬롯들을 할당받아서 사용한다.

또한 위성통신에서는 업링크 주파수와 다운링크 주파수 사이의 간섭을 방지하기 위해 두 주파수를 서로 다르게 사용한다. 다시 말해서 지상의 위성단말은 공중의 위성을 향해 업링크 주파수(f_1)로 패킷을 전송하고, 위성은 해당 패킷의 주파수를 바꾸어 다운링크 주파수(f_2)로 해당 패킷을 지상의 위성 단말에게 전달해 준다.

모든 위성단말의 오버히어링 (Overhearing) 을 보장하기 위해 랜덤 액세스 채널의 프레임 길이는 위성 단말의 최대 전송지연시간보다 길고, 프레임 내 슬롯의 길이는 위성단말의 패킷 전송을 보장하기 위해 위성단말이 전송하는 패킷의 길이보다 길다고 가정하였다^[12]. 또한 랜덤 액세스 채널에서 패킷 간의 충돌을 제외한 패킷 손실은 없다고 가정하였다. 즉, 지상의 모든 위성단말이 수신한 패킷의 정보는 동일하다. 본 논문에서 사용하는 랜덤 액세스 시스템 모델은 그림 1 과 같다.

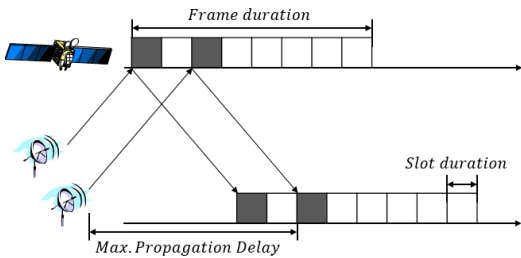


그림 1. DVB-RCS에서의 랜덤 액세스 시스템 모델
Fig. 1. Random access system model in DVB-RCS

2.2 CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA)

CRDSA는 위성 랜덤 액세스 기법의 처리율 향상을 위해 2007년 제안된 기법이다. CRDSA은 Framed Slotted ALOHA기반의 랜덤 액세스 기법으로, CRDSA 시스템에서 위성단말은 2개의 복제 패킷을 서로 다른 슬롯을 통해 전송함으로써 패킷 다이버시티 (Diversity)를 획득하였다. 또한 하나의 프레임 구간동안 전송된 모든 패킷을 버퍼에 저장한 후 간섭 제거

기술을 통해 동일한 패킷을 제거함으로써 최대 처리율을 약 0.55packets/slot까지 증가시켰다.

CRDSA 시스템에서 각 위성단말(Satellite Terminal, ST)은 그림 2와 같이 동작한다. 그림 2에서 4개의 위성단말은 2개의 서로 다른 슬롯을 통해 복제패킷을 전송한다. 만약 그림 2에서 간섭 제거를 하지 않을 경우, 4번 슬롯을 제외한 모든 슬롯은 충돌이 발생하여 패킷을 전송 할 수 없다. 하지만 간섭제거를 통해서 동일한 패킷을 하나씩 제거할 경우, 모든 단말이 전송한 패킷이 전송에 성공하는 것을 볼 수 있다.

하지만 CRDSA 시스템에서 최대 처리율 이상의 트래픽이 유입될 경우, 과도한 복제 패킷으로 인해 처리율이 급격히 감소하게 된다. CRDSA의 트래픽 부하에 따른 최대 처리율의 그래프는 그림 3과 같다. 그림 3에서 CRDSA는 Slotted ALOHA에 비해 최대 처리율 까지 높은 처리율과 낮은 패킷 손실률을 보이지만 최대 처리율 이후 처리율이 급격히 감소하여 Slotted ALOHA의 처리율보다 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이 이유는 최대 처리율 이후에는 각 단말이 전송한 복제 패킷이 오히려 패킷 간 충돌을 크게 증가시키기 때문이다.

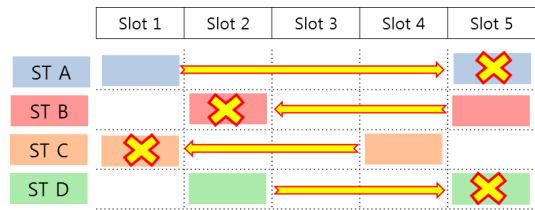


그림 2. CRDSA의 동작 예시
Fig. 2. Example of CRDSA

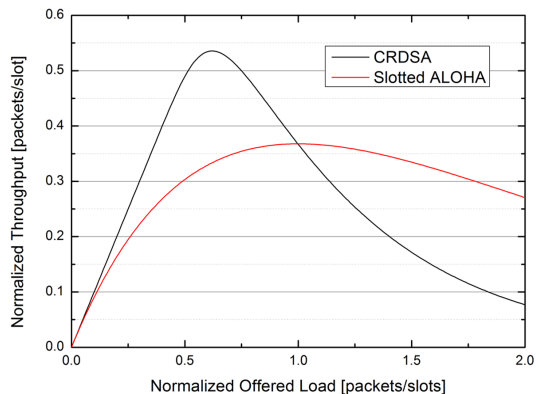


Fig. 3. Throughput of CRDSA and Slotted ALOHA
그림 3. CRDSA와 Slotted ALOHA의 처리율

2.3 R-CRDSA Reservation scheme with Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA

R-CRDSA는 위성통신의 오버헤어링 특성을 활용하여 분산 환경에서 각 위성단말의 슬롯 예약을 가능하게 하는 기법이다. 위성통신 네트워크에서 지상의 위성단말은 오버헤어링을 통해 자신이 보낸 패킷을 포함하여 모든 패킷을 수신할 수 있다. 따라서 각 위성단말은 각 슬롯의 전송 성공 여부를 알 수 있기 때문에 패킷 전송에 성공한 슬롯을 예약된 슬롯으로 인식하게 된다. R-CRDSA 시스템에서 위성단말의 슬롯 예약 절차는 그림 4와 같다. 그림 4에서 Res.는 해당 슬롯이 예약된 상태인 것을 나타낸다. 그림 4에서처럼 각 위성단말은 CRDSA 기법을 통하여 초기 패킷을 전송하고 이후에는 전송이 성공한 슬롯을 예약된 슬롯으로 인식하고 해당 슬롯을 통해 나머지 패킷을 전송하게 된다. 다시 말해서 슬롯 예약에 성공한 위성단말은 더 이상 복제 패킷을 전송하지 않고 자신이 예약한 슬롯을 통해 나머지 패킷을 전송하게 된다. 따라서 R-CRDSA 시스템에서 각 위성단말은 CRDSA에 비해 적은 수의 복제패킷을 사용함으로써 네트워크의 최대 처리율을 더욱 증가시킬 수 있다. 하지만 R-CRDSA 시스템의 경우 위성단말은 하나의 프레임에서 하나의 슬롯만을 예약해서 사용하게 된다. 따라서 여러 개의 패킷으로 이루어진 데이터를 전송하기 위해서는 여러 개의 프레임을 사용하여 전송하기 때문에 지연시간이 길어지게 된다. 특히 부하가 낮은 환경에서는 다수의 슬롯이 사용되지 않더라도 패킷 개수만큼의 프레임이 필요하게 된다. 예를 들어 \bar{r} 개의 슬롯 길이로 구성된 데이터를 전송하기 위해서는 다른 슬롯의 사용 여부에 상관없이 \bar{r} 개의 프레임이 필요하게 된다.

III. 제안기법

3.1 다중 슬롯 예약 기법

본 논문에서는 위성 랜덤 액세스 채널의 부하가 낮

은 환경에서 다중 슬롯 예약을 통해 지연시간을 단축시키기 위한 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법에서 위성단말은 CRDSA 기반으로 동작하는 것으로 가정하였다. 즉, 위성단말은 2개의 복제 패킷을 전송하며, 간섭 제거 기법을 통해 전송에 성공한 패킷의 복제 패킷을 제거한다. 또한 2절에서 언급한 것과 같이 모든 위성단말이 수신한 패킷은 동일하다. 본 논문에서 제안하는 기법에서 위성단말은 네트워크 내 다른 위성단말로부터 발생한 데이터의 크기와 현재 예약 가능한 슬롯의 수를 고려하여 다수의 슬롯을 예약한다. 이를 위해 위성 단말은 패킷과 함께 자신이 전송하려고 하는 데이터의 크기를 함께 전송하고, 각 위성단말은 패킷을 수신하여 버퍼에 저장한 후 간섭 제거처리를 수행한다. 간섭 제거 처리를 한 후, 위성 단말은 각 위성단말의 주소와 필요한 슬롯의 개수를 파악하게 된다. 위성단말 i 에 필요한 슬롯의 개수 R_i 는 다음과 같다.

$$R_i = r_i - 1 \tag{1}$$

수식 (1)에서 r_i 는 위성단말 i 에서 발생한 데이터의 크기이고 첫 프레임에서 하나의 패킷을 전송하기 때문에 추가적으로 위성단말 i 에 필요한 슬롯의 개수는 $r_i - 1$ 과 같다. 또한 R_i 는 다음 프레임에서 위성단말 i 가 예약할 슬롯의 개수를 의미한다.

본 논문에서 제안하는 기법에서 각 위성단말은 분산 환경에서 여러 개의 슬롯을 예약하기 때문에 일정한 규칙 없이 슬롯을 예약할 경우, 서로 다른 위성단말에 의해 예약된 슬롯이 겹치는 상황이 발생할 수 있다. 예약된 슬롯이 겹칠 경우, 해당 슬롯을 통한 데이터 전송은 불가하며, 위성단말은 복제패킷을 사용하여 슬롯 예약을 다시 시도할 것이다. 이는 충돌을 증가시키며, 처리율을 감소시킬 것이다. 이와 같은 상황을 방지하기 위해 본 논문에서 제안하는 기법에서 각 위성단말은 간섭 제거 이후 버퍼에 위치한 순서대로 해

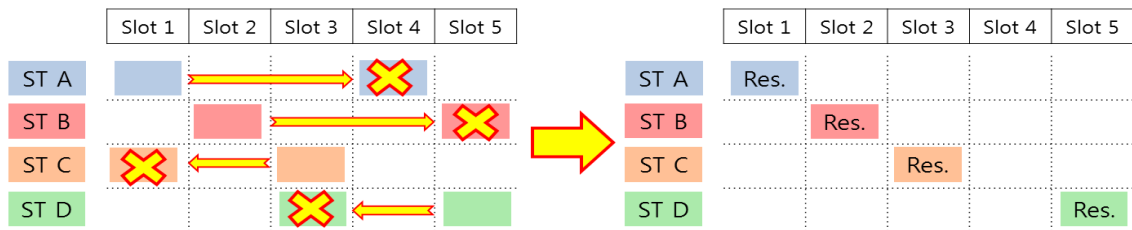


그림 4. R-CRDSA의 동작 예시
Fig. 4. Example of R-CRDSA

당 위성 단말이 필요한 만큼의 슬롯을 예약한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 절차는 그림 5와 같이 동작한다. 그림 5에서 위성단말 A, B, C의 데이터 크기는 각각 3, 2, 2이므로 각 단말에 추가적으로 필요한 슬롯의 개수는 각각 2, 1, 1개이다. 또한 간섭 제거 이후 버퍼에는 위성단말 B, A, C가 전송한 패킷이 순서대로 위치하기 때문에, 다음 프레임에는 위성단말 B, A, C 순서로 각각 1개의 슬롯, 2개의 슬롯, 1개의 슬롯을 예약하게 된다. 예약되지 않은 슬롯은 이후 다른 위성단말에 의해 사용되게 된다. 위성단말 A, B, C 뿐만 아니라 네트워크 내의 다른 위성단말 역시 동일한 패킷을 수신하여 동일한 처리 과정을 거치기 때문에, 다른 위성단말 역시 다음 프레임의 슬롯 예약 상태와 예약되지 않은 슬롯의 위치를 파악할 수 있게 된다. 또한 자신의 데이터를 모두 전송한 위성단말은 마지막 패킷의 전송과 함께 예약 종료 신호를 함께 전송하여 다른 단말이 해당 슬롯을 사용할 수 있도록 한다.

3.2 예약 될 슬롯 개수 재계산

3.1절에서 위성단말 A, B, C가 다음 프레임에서 예약하게 될 슬롯의 개수는 총 4개이다. 이는 5개의 슬롯으로 구성된 하나의 프레임에서 모두 예약할 수 있었다. 하지만 각 위성단말이 다음 프레임에서 예약할 슬롯의 개수가 프레임 구간보다 많을 경우 프레임 내에서 각 단말에게 필요한 만큼의 슬롯을 예약할 수 없게 된다. 그림 6에서 위성단말 A, B, C가 필요한 슬롯의 개수는 3개, 4개, 2개로 총 9개이기 때문에 5

개의 슬롯으로 구성된 하나의 프레임에서 모두 예약할 수 없다. 즉, 하나 이상의 위성단말은 슬롯을 예약할 수 없게 된다. 그림 6에서 위성단말 A는 하나의 슬롯만을 할당 받았고, 위성단말 C는 하나의 슬롯도 할당 받지 못하였다. 이와 같은 상황을 방지하기 위해 다음 프레임에서 예약 될 슬롯의 총 개수가 프레임의 슬롯 개수보다 많을 경우, 각 위성단말에 의해 예약 될 슬롯의 수를 감소시켜야한다.

본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법의 경우 분산 환경에서 별도 운용국의 제어 없이 슬롯을 예약하기 때문에 각 위성단말의 공정성은 반드시 보장되어야 한다. 즉, 각 위성단말이 예약하게 될 슬롯의 개수는 다른 모든 위성단말과 동일한 비율로 감소해야 한다. 따라서 다음 프레임에서 예약 될 슬롯의 총 개수가 프레임의 슬롯 개수보다 많을 경우, 각 위성단말에 의해 예약될 슬롯의 개수 \hat{R}_i 는 다음 수식을 통해 다시 계산하게 된다.

$$\hat{R}_i = \left\lfloor R_i \times \frac{S_{available}}{\sum R_k} \right\rfloor \quad (2)$$

수식 (2)에서 $\sum R_k$ 는 현재 프레임에서 패킷 전송에 성공한 위성단말이 필요한 총 슬롯의 개수이다. 즉, 다음 프레임에서 예약 될 총 슬롯의 개수를 의미한다. 다음으로 $S_{available}$ 는 다음 프레임에서 이용할 수 있는 비 예약 상태인 슬롯의 개수이다. 또한 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 작거나 같은 정수를 나타내는 기호이다. 수식 (2)를 사용하여 각 위성단말은 다음 프레임에서 이용할

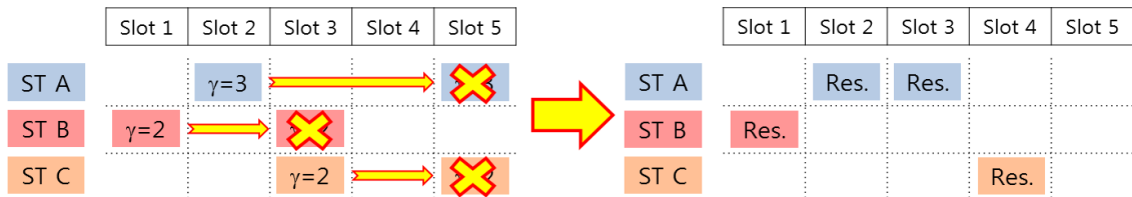


그림 5. 제안 기법의 동작 예시
Fig. 5. Example of Proposed Scheme

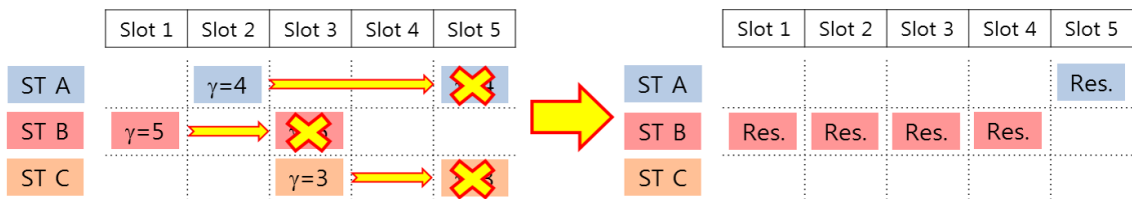


그림 6. 제안 기법에서의 문제점
Fig. 6. Problem in Proposed scheme

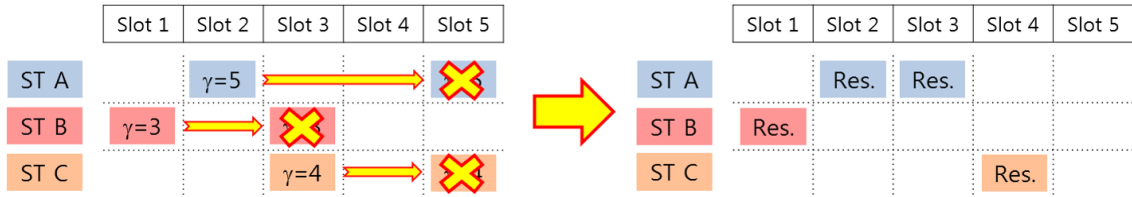


그림 7. 제안 기법에서의 슬롯 재계산 예시
Fig. 7. Example of Re-calculation in Proposed scheme

수 있는 슬롯의 수를 고려하여 각 위성단말에 의해 예약 될 슬롯의 수를 거의 동일한 비율로 감소시킬 수 있다. 예를 들어 그림 6과 같은 환경에서 수식 (2)를 사용하여 할당 될 슬롯의 개수를 다시 계산 할 경우, 위성단말 A, B, C 가 예약 하게 될 슬롯의 개수는 각각 1개, 2개, 1개로 감소하여 총 4개의 슬롯을 필요로 하게 된다. 따라서 다음 프레임에서 모든 위성단말이 슬롯을 예약할 수 있다. 슬롯 개수 재계산을 통한 슬롯 예약 결과는 그림 7과 같다.

하지만 특정 위성단말 i 가 다음 프레임에서 예약 할 슬롯의 개수 R_i 가 다른 위성단말에 비해 작을 경우, 수식 (2)를 통해 다시 계산한 \hat{R}_i 가 0이 될 수 있다. 이는 다음 프레임에서 슬롯을 예약하지 못하는 것을 의미한다. 따라서 이 단말은 패킷은 전송하였지만 다음 프레임에서 슬롯을 예약하지 못하게 된다. 이와 같은 상황이 발생 할 경우 해당 단말은 다시 슬롯 예약을 시도해야하고 결국 지연시간이 증가하게 된다. 따라서 패킷 전송에 성공한 단말에게 최소 하나의 슬롯 예약을 보장하기 위해 수식 (2)는 다음과 같이 수정되어야한다.

$$\hat{R}_i = \max\left(1, \left\lfloor R_i \times \frac{S_{available}}{\sum R_k} \right\rfloor\right) \quad (3)$$

수식 (3)에서 max함수는 둘 중 큰 값을 선택한다. (3)을 통해 다중 슬롯 예약 과정에서 위성단말은 최소 하나의 슬롯 예약을 보장 받으며 각 위성단말의 공정성을 최대한 보장할 수 있다. 위성단말은 다음 프레임에서 예약될 슬롯의 개수가 이용 가능한 슬롯의 수보다 작아질 때 까지 수식 (3)을 반복하여 각 단말이 예약 할 슬롯의 수를 감소시킨다. 본 논문에서 제안하는 기법의 플로우차트는 그림 8과 같다.

IV. 성능 분석

4.1 제안 기법의 전송지연시간

본 논문에서는 전송 지연 시간의 분석을 위해 데이터 전송을 위해 사용한 프레임의 수를 측정하였다. 2.2절에서 설명한 것과 같이 R-CRDSA 시스템에서 \bar{r} 개의 슬롯 길이로 구성된 데이터를 전송하기 위해 위성단말은 트래픽 부하에 상관없이 \bar{r} 개의 프레임을 사용하게 된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법에서 각 위성 단말은 여러 개의 슬롯을 예약 하여 데이터를 전송하기 때문에 R-CRDSA에 비해 적은수의 프레임을 사용하여 데이터를 전송할 수 있다.

다중 슬롯 예약 기법에서 \bar{r} 개의 슬롯 길이로 구성된 데이터를 전송하기 위해 필요한 프레임의 수 N_{Frame} 는 다음과 같다.

$$N_{Frame} = 1 + \frac{r_i - 1}{R_i} \quad (4)$$

수식 (4)는 슬롯 예약을 위해 사용하는 하나의 프레임과 예약된 슬롯을 통해 전송하는 프레임들을 포함한 총 개수이다. 또한 수식 (2)와 (3)을 통해 평균 예약 슬롯 개수 \bar{R} 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

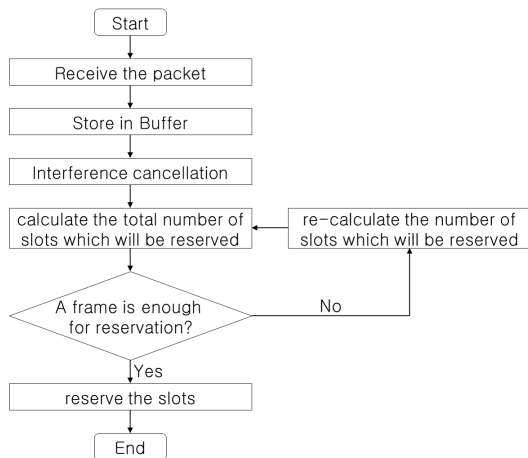


그림 8. 제안 기법의 플로우차트
Fig. 8. Flow-chart of Proposed scheme

$$\bar{R} = \begin{cases} \bar{r}-1, & \sum \bar{R} \leq S_{available} \\ \left\lfloor \bar{R} \times \frac{S_{available}}{\sum \bar{R}} \right\rfloor, & \sum \bar{R} > S_{available} \end{cases} \quad (5)$$

또한 수식 (5)에서 다음 프레임에서 예약 될 총 슬롯 개수 $\sum \bar{R}$ 은 위성단말의 평균 예약 슬롯 개수 \bar{R} 와 접속에 성공한 단말 수의 곱($N_{success}$)으로 표현할 수 있다. 따라서 수식 (5)는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\bar{R} = \begin{cases} \bar{r}-1, & \sum \bar{R} \leq S_{available} \\ \left\lfloor \bar{R} \times \frac{S_{available}}{\bar{R} \times N_{success}} \right\rfloor, & \sum \bar{R} > S_{available} \\ = \left\lfloor \frac{S_{available}}{N_{success}} \right\rfloor \end{cases} \quad (6)$$

수식 (6)을 사용하여 다중 슬롯 예약 기법에서 \bar{r} 개의 슬롯 길이로 구성된 데이터를 전송하기 위해 필요한 평균 프레임의 개수 N_{Frame} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$N_{Frame} = \begin{cases} 2, & \sum \bar{R} \leq S_{available} \\ 1 + \left\lfloor \frac{(\bar{r}-1)}{S_{available}/N_{success}} \right\rfloor, & \sum \bar{R} > S_{available} \end{cases} \quad (7)$$

수식 (7)에서 접속에 성공한 단말 수가 이용할 수 있는 슬롯의 개수보다 적거나 같을 경우 즉, $\lfloor S_{available}/N_{success} \rfloor$ 가 1보다 크거나 같을 경우 다중 슬롯 예약 기법이 R-CRDSA보다 적거나 같은 수의 슬롯을 사용할 것으로 예상 할 수 있다. 랜덤 액세스 기법에서 이용 가능한 수의 슬롯보다 많은 수의 단말이 채널을 사용할 수는 없기 때문에, 본 논문에서 제안한 기법이 R-CRDSA에 비해 적거나 같은 수의 프레임을 사용하는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 R-CRDSA에 비해 전송지연시간이 짧다는 것을 알 수 있다.

4.2 제안 기법의 슬롯 사용률

2.2에서 설명한 것과 같이 R-CRDSA에서 위성단말은 하나의 슬롯만을 예약하여 사용하기 때문에 최대 처리율까지는 트래픽 부하와 슬롯 사용률이 동일하다. 즉, 부하가 낮을 경우 낮은 슬롯 사용률을 보인다. 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약기법에서는

위성단말이 다수의 슬롯을 예약하여 사용하기 때문에 높은 슬롯 사용률을 보이게 될 것이다. 본 논문에서는 제안 기법의 슬롯 사용률을 분석하기 위해 [7]에서 사용한 용어와 수식을 사용하였다. 예약 기반의 랜덤 액세스 기법에서 슬롯의 상태는 예약(reserved)상태와 비 예약(non-reserved)상태로 나뉘게 되며, [7]에서는 i 번째 프레임에서 예약된 슬롯의 수 n_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$n_i = n_i^{(r2r)} + n_i^{(n2r)} \quad (8)$$

수식 (8)에서 $n_i^{(r2r)}$ 은 $i-1$ 번째 프레임에서 예약 상태이고, i 번째 프레임에서도 예약 상태인 슬롯의 개수이고, $n_i^{(n2r)}$ 은 $i-1$ 번째 프레임에서 비 예약 상태이고, i 번째 프레임에서는 예약 상태인 슬롯의 개수이다. 다시 말해서 i 번째 프레임에서 예약 된 슬롯의 수는 이전 프레임에 이어서 예약 상태를 유지하는 슬롯의 개수($n_i^{(r2r)}$)와 현재 프레임에서 새롭게 예약된 슬롯의 개수($n_i^{(n2r)}$)의 합으로 표현한다. [7]에서 $n_i^{(r2r)}$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$n_i^{(r2r)} = \left(1 - \frac{1}{\bar{r}-1}\right) \times n_{i-1} \quad (9)$$

수식 (9)에서 \bar{r} 은 데이터의 평균 길이를 의미한다. 다시 말해서 수식 (9)는 이전 프레임에서 예약 상태인 슬롯의 개수와 이전 프레임에서 전송한 패킷이 데이터의 마지막 패킷이 아닐 확률의 곱을 의미한다. 유사한 방법으로 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법에서 $n_i^{(r2r)}$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$n_i^{(r2r)} = \left(1 - \frac{\bar{R}}{\bar{r}-1}\right) \times n_{i-1} \quad (10)$$

수식 (10)에서 \bar{R} 은 각 단말이 평균적으로 예약하는 슬롯의 개수를 의미한다. 또한 수식 (6)을 대입하여 수식 (10)을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$n_i^{(r2r)} = \begin{cases} 0, & \sum \bar{R} \leq S_{available} \\ \left(1 - \frac{1}{\bar{r}-1} \times \left\lfloor \frac{S_{available}}{N_{success}} \right\rfloor\right) \times n_{i-1}, & \sum \bar{R} > S_{available} \end{cases} \quad (11)$$

수식(11)에서 $S_{available}$ 은 다음 프레임에서 예약할 수 있는 슬롯의 개수이며, 4.1에서 언급한 것처럼 랜덤 액세스 기법에서 $\lfloor S_{available}/N_{success} \rfloor$ 는 1보다 크거나 같기 때문에, 본 논문에서 제안하는 기법의 $n_i^{(r2r)}$ 은 R-CRDSA의 $n_i^{(r2r)}$ 보다 작거나 같다. 다시 말해서 R-CRDSA에 비해 적거나 같은 수의 슬롯이 예약 상태로 유지되는 것이다. 즉, 더욱 많은 수의 위성단말이 자신의 데이터 전송을 완료하여 예약 상태를 종료한다는 것을 의미한다. 다음으로 [7]에서 $n_i^{(n2r)}$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$n_i^{(n2r)} = (N \times G - n_i^{(r2r)}) \cdot P_{pd}(N_{iter}|G^*) \quad (12)$$

수식 (12)는 시스템의 트래픽 부하가 G 일 때, i 번째 프레임에서 채널에 접속을 시도 할 위성단말의 수와 접속 성공 확률의 곱을 의미한다. 하지만 [6]과 달리 다중 슬롯 예약 기법에서 위성단말은 여러 개의 슬롯을 예약하기 때문에 다중 슬롯 예약기법에서의 $n_i^{(n2r)}$ 은 이를 고려하여 다음과 같이 계산한다.

$$n_i^{(n2r)} = \bar{R} \cdot (N \times G - n_i^{(r2r)}/\bar{R}) \cdot P_{pd}(N_{iter}|G^*) \quad (13)$$

또한 예약 기반의 랜덤 액세스 기법에서 트래픽 부하는 이전 프레임의 슬롯 예약 상태에 따라 변하기 때문에 매 프레임마다 트래픽 부하 G^* 를 다시 계산해야 한다. 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법에서 G^* 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$G^* = \frac{N \times G - n_i^{(r2r)}/\bar{R}}{N - n_i^{(r2r)}} \quad (14)$$

수식 (14)에서 분모는 예약되지 않은 슬롯의 개수를 의미하고, 분자는 예약 슬롯을 가지고 있지 않은 단말의 수를 의미한다. 또한 수식 (6)을 대입하여 수식 (13)를 수식(15)와 같이 정리할 수 있다.

수식 (15)에서 $(\bar{r}-1)$ 과 $\lfloor S_{available}/N_{success} \rfloor$ 은

모두 1보다 크거나 같다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기법의 $n_i^{(n2r)}$ 은 R-CRDSA의 $n_i^{(n2r)}$ 보다 크거나 같다. 다시 말해서 더 많은 수의 슬롯이 추가적으로 예약되는 것이다. 수식 (11)과 (15)를 통해 본 논문에서 제안한 기법을 사용 할 경우, R-CRDSA보다 많은 수의 위성 단말이 자신의 전송을 신속하게 끝내고 많은 수의 슬롯이 추가적으로 예약되는 것을 알 수 있다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 기법의 슬롯 사용률 U 는 다음과 같다.

$$U = \frac{n_i}{N} = \frac{n_i^{(n2r)} + n_i^{(r2r)}}{N}, \quad i > 1 \quad (16)$$

V. 모의실험

5.1 모의실험 파라미터 및 트래픽 모델

본 논문에서는 모의실험을 통해 R-CRDSA와 제안 기법의 성능을 비교하였다. 모의실험에서 사용한 파라미터는 표 1과 같다. 하나의 프레임은 100개의 슬롯으로 구성되어 있으며, 100개의 위성 단말이 있는 환경을 가정하였다. 또한 위성단말이 생성하는 데이터의 크기는 평균적으로 3개, 5개, 10개의 패킷으로 구성된 것으로 가정하였으며, CRDSA의 간섭 제거는 최대 10회 수행하는 것으로 지정하였다.

본 논문에서는 데이터 크기를 고르게 발생시키기 위해 균등 분포를 따르도록 하였다. 균등 분포의 경우 다른 분포에 비해 구간 내의 각 값들이 고르게 분포되기 때문에 데이터 크기의 편차가 큰 환경을 모델링하는데 적합한 트래픽 모델이 될 것이다. 또한 평균이 \bar{r}

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
No. of slots in a frame	100 slots
No. of frames per simulation	10,000 frames
No. of packets in a data	3, 5, 10 packets
No. of STs in a simulation	100 STs
No. of Interference cancellation	10

$$n_i^{(n2r)} = \begin{cases} ((\bar{r}-1) \times N \times G - n_i^{(r2r)}) \cdot P_{pd}(N_{iter}|G^*), & \sum \bar{R} \leq S_{available} \\ \left(\left\lfloor \frac{S_{available}}{N_{success}} \right\rfloor \times N \times G - n_i^{(r2r)} \right) \cdot P_{pd}(N_{iter}|G^*), & \sum \bar{R} > S_{available} \end{cases} \quad (15)$$

일 때, 각 데이터의 길이는 $[1, 2 \times \bar{r} - 1]$ 구간에서 균등하게 선택되도록 하였다.

5.2 모의실험 결과

모의실험은 데이터를 구성하는 평균 패킷의 수를 달리하면서 평균 전송지연시간과 평균 슬롯 사용률을 측정하였다. 평균 전송지연시간을 측정하기 위해 100개의 위성단말이 계속해서 데이터를 발생시키는 상황을 가정하였으며, 채널 접속을 시도하는 위성단말의 수는 트래픽 부하 G 에 따라 결정된다. 다시 말해서 트래픽 부하 G 가 0.1일 때는 10개의 위성 단말이, 트래픽 부하 G 가 0.9일 때는 90개의 위성 단말이 채널 접속을 시도하게 된다. 그림 8은 평균 데이터 크기 \bar{r} 에 따른 각 기법의 평균지연시간을 나타낸다. 해당 모의실험에서 측정한 평균전송지연시간은 각 위성단말이 자신의 데이터를 전송하기 위해 사용한 평균 프레임 수와 같다. 그림 9은 트래픽 부하에 따라 각 단말이 데이터를 전송하는데 평균적으로 사용한 프레임 개수를 반올림 한 결과이다. 값이 일정하지 않은 이유는 데이터 크기의 편차가 비교적 크기 때문이다. 이 결과를 통해 본 논문에서 제안한 기법이 R-CRDSA에 비해 적은수의 프레임을 사용하여 데이터를 전송하는 것을 알 수 있다. 즉 R-CRDSA에 비해서 평균전송지연시간에 비해 짧은 것을 알 수 있다. 이는 4.1절에서 성능 분석을 통해 예측한 결과와 크게 다르지 않다.

다음으로 그림 10은 트래픽 부하 G 와 평균 데이터 크기 \bar{r} 에 따른 각 기법의 평균 슬롯 사용률 U 를 나타낸다. 그림 9를 통해 거의 모든 구간에서 본 논문에 제안하는 기법을 사용하는 것이 R-CRDSA에 비해 높은 슬롯 사용률을 보이는 것을 확인할 수 있다.

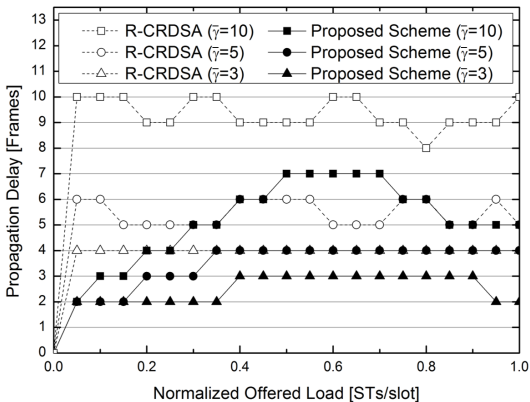


그림 9. 전송 지연 시간 비교
Fig. 9. Comparison of propagation delay

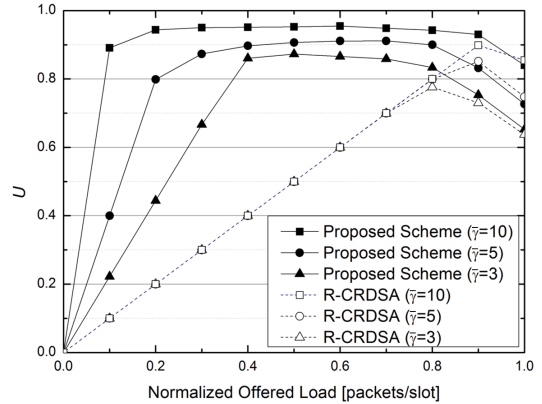


그림 10. 슬롯 사용률 비교
Fig. 10. Comparison of slot utilization

R-CRDSA를 사용할 경우, 트래픽 부하에 상관없이 각 위성단말이 하나의 슬롯만을 예약하여 사용하기 때문에 트래픽 부하와 같은 수준의 슬롯만이 사용되며, 최대 처리율 이후 슬롯 사용률이 감소한다. 반면에 본 논문에서 제안한 기법을 사용할 경우, 트래픽 부하가 낮은 환경에서는 각 단말이 자신이 필요한 만큼의 슬롯을 모두 예약해서 사용하기 때문에 높은 슬롯 사용률을 보이고, 트래픽 부하가 증가하더라도 수식(3)을 사용하여 각 단말에게 할당할 수 있는 최적의 슬롯 개수를 예약하여 사용하기 때문에 비교적 일정하게 슬롯 사용률이 유지되는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 그림 11은 패킷간의 충돌을 고려한 전송지연시간을 측정한 결과이다. 해당 모의실험에서는 각 단말이 자신의 데이터를 전송한 이후에는 추가적인 데이터를 발생시키지 않는 특수한 상황을 가정하였다. 다시 말해서 100개의 위성단말이 모두 자신의 데이터를 하나씩 전송하는데 사용한 총 프레임 개수 N_{Frames} 을 측정하였다. 모의실험에서 사용된 프레임은 표 1과 같이 100개의 슬롯으로 구성되어있다. 그림 11을 통해 본 논문에서 제안한 기법을 사용할 경우, R-CRDSA에 비해 적은 수의 프레임을 사용하며 비교적 일정한 숫자의 프레임을 사용하는 것을 알 수 있다. 이는 각 단말이 사용할 수 있는 최대한의 슬롯을 사용하여 자신의 데이터를 전송하기 때문이다. 특히 트래픽 부하가 낮은 환경에서는 R-CRDSA에 비해 월등히 적은 수의 프레임을 사용하는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 위성단말이 경쟁을 통해 채널을 사용하는 환경에서 본 논문에서 제안하는 기법을 사용하는 것이 R-CRDSA를 사용하는 것에 비해 더욱 신속하게 데이터를 전송할 수 있다. 또한 이 모의실험에서는

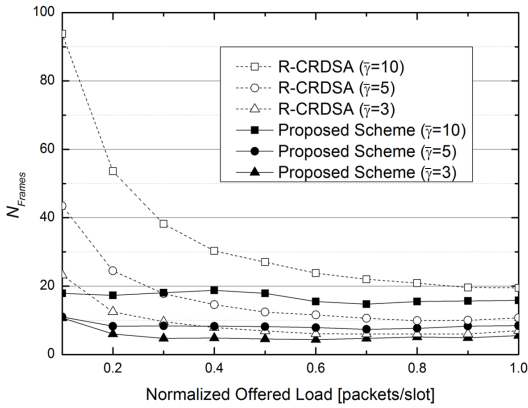


그림 11. 사용 프레임 개수 비교
Fig. 11. Comparison of the number of used frame

100개의 위성단말이 각각 하나의 데이터를 가지고 있으며, 추가적인 데이터를 발생시키지 않는 상황을 가정하였다. 따라서 위성단말이 계속해서 데이터를 발생시킬 경우 두 기법간의 지연시간차이는 누적되어 더 커질 것이다.

세 개의 모의실험 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 기법이 트래픽 부하가 낮은 상황에서 데이터를 전송하는데 효율적인 통신 기법이라는 것을 알 수 있다. 또한 트래픽 부하가 증가하더라도 R-CRDSA와 비슷하거나 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문은 군 위성통신 네트워크에서 슬롯 사용률을 높이고, 전송 지연 시간을 단축시키기 위한 다중 슬롯 예약 기법을 제안하였다. R-CRDSA의 경우 복제 패킷 제어를 통해 CRDSA의 처리율을 향상시킬 수 있었지만, 각 단말이 하나의 슬롯만을 예약 하여 사용하기 때문에 트래픽 부하가 낮은 환경에서는 많은 수의 슬롯이 낭비되었다. 본 논문에서는 이러한 문제점의 해결을 위해 각 단말에게 발생한 데이터의 사이즈를 고려하여 최대한의 슬롯을 제공하는 방식으로 슬롯 사용률을 증가 시켰으며, 이를 통해 전송 지연 시간을 단축 시켰다.

본 논문에서 제안한 기법은 CRDSA에서 간섭 제거를 위해 사용하는 버퍼를 활용하여 다중 슬롯 예약을 수행하기 때문에 추가 적인 비용을 발생시키지 않으며, 별도 운용국의 제어 없이 동작하기 때문에 구현이 용이하다는 장점이 있다. 특히 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 기법을 사용할 경우, 트래픽 부하가 낮은 환경에서 R-CRDSA에 비해 월등한 성능을 보이

는 것을 알 수 있다. 따라서 소수의 단말이 대부분의 데이터를 수집 및 전송하는 군 통신네트워크에서 본 논문에서 제안하는 다중 슬롯 예약 기법을 사용하여 데이터를 전송할 경우 더욱 효율적인 데이터 전송을 달성할 수 있을 것이다.

References

- [1] H. Noh, K. Go, K. Lee, J. Kim, J. Lim, and Y. Song, "Resource allocation and IP networking for next generation military satellite communications system," *J. KICS*, vol. 38C, no. 11, pp. 939-954, Nov. 2013.
- [2] N. Kuhn, H.-C. Bui, J. Lacan, J. Radzik, and E. Lochin, "On the trade-off between spectrum efficiency with dedicated access and short end-to-end transmission delays with random access in DVB-RCS2," in *Proc. ACM MobiCom Workshop on Lowest Cost Denominator Networking for Universal Access (LCDNet 2013)*, 2013.
- [3] E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. del R. Herrero, "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): An enhanced random access scheme for satellite access packet networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 6, no. 4, Apr. 2007.
- [4] G. Liva, "Graph-based analysis and optimization of contention resolution diversity slotted ALOHA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 2, Feb. 2011.
- [5] *Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 2: Lower Layers Satellite Specification, ETSI EN 301 545-2*, Jan. 2012.
- [6] H. Noh, Y. Lee, J. Lim, H. Park, and H. Lee, "Fast congestion control to transmit bursty traffic rapidly in satellite random access channel," *J. KICS*, vol. 39, no. 11, Nov. 2014.
- [7] M. Lee, J. K. Lee, J. J. Lee, and J. Lim, "R-CRDSA: Reservation-contention resolution diversity slotted ALOHA for satellite networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 10, pp. 1576-1579, Oct. 2012.
- [8] B. Bennett, D. Bussert, and D. Goldstein,

“Analysis of operational airborne ISR full motion video metadata,” *IEEE MILCOM*, pp. 323-327, Nov. 2013.

- [9] G. Pearson and J. Lemon, “Vision and critical challenges in exploiting distributed data for distributed decision making,” in *Proc. SPIE: Defense Transformation and Net-Centric Systems*, vol. 80620C-80620C-10, 2011.
- [10] H. J. Ortiz-Peña, R. Nagi, M. Sudit, M. D. Moskal, M. Dawson, J. Fink, T. Hanratty, E. Heilman, and D. Tuttle, “From information needs to information gathering: A system optimization perspective to ISR synchronization,” in *Proc. SPIE: Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR III*, vol. 8389, no. 838912-1, 2012.
- [11] S. Woo, H. Park, H. Lee, Y. Yoo, and B. Jung, “A power control-based MF-TDMA resource allocation scheme for next generation military satellite communication systems,” *J. KICS*, vol. 37, no. 11, Nov. 2012.
- [12] S. S. Lam, “Packet broadcast networks - A performance analysis of the R-ALOHA protocol,” *IEEE Trans. Computers*, vol. C-29, pp. 596-603, 1980.

이 윤 성 (Yun-seong Lee)



2014년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과 졸업
 2014년~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 위성 랜덤액세스, Dynamic-TDMA

이 진 석 (Jin-seok Lee)



2013년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과 졸업
 2015년 2월 : 아주대학교 소프트웨어특성화학과 석사
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 정보컴퓨터공학부 박사과정
 <관심분야> 통신 공학, 위성통신공학, 군통신 공학

임 재 성 (Jae-sung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자공학과 학사
 1985년 2월 : KAIST 영상통신 석사
 1994년 8월 : KAIST 디지털통신 박사
 1998년 3월~현재 : 아주대학교 소프트웨어융합학과 정교수
 2006년 8월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장
 <관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신

박 형 원 (Hyung-won Park)



2003년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과 졸업
 2005년 2월 : 아주대학교 정보통신공학과 석사
 2009년 8월 : 아주대학교 정보통신공학과 박사
 2009년~현재 : LIG넥스원
 <관심분야> 전술데이터링크, 군 위성통신, 이동통신

노 흥 준 (Hong-jun Noh)



2008년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과 졸업
 2008년~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심분야> 위성 통신망, MF-TDMA, 랜덤 액세스, 전술 데이터링크