

임의 접속 위성망의 CRDSA 성능 향상을 위한 NOMA 응용

임형규*, 이민우*, 임재성^o

An Application of NOMA for CRDSA Performance Improvement in Random Access Satellite Networks

Hyeongkyu Lim*, Minwoo Lee*, Jaesung Lim^o

요 약

CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA) 기술의 등장은 위성 네트워크 환경에서 임의 접속 기법을 사용자 트래픽 전송에 사용하는 계기를 마련해주었다. 이후 많은 연구에서 CRDSA의 성능을 향상시키기 위한 연구가 계속 되었다. 하지만, 현재까지의 CRDSA 성능 향상을 위한 기술들은 복제 패킷의 개수를 늘리는 형태를 사용하기 때문에 CRDSA 보다 패킷 전송율은 향상되지만 복제 패킷 수량 증가로 인해 전력 효율이 감소한다. 위성 단말들이 소형, 이동형으로 개발되면서 효율적인 임의접속 기술은 매우 중요하다. 본 논문에서는 전력 효율을 CRDSA와 동일하게 유지하면서 패킷 전송율을 향상시키기 위해 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 기술을 CRDSA에 적용할 것을 제안한다. 위성 네트워크에 NOMA를 적용하기 위한 방안을 제시하고, NOMA-CRDSA의 성능을 모의실험을 통해 확인한다.

Key Words : Satellite Networks, Random Access, CRDSA, NOMA

ABSTRACT

The emergence of CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA) technology has provided the opportunity to use random access schemes for user traffic transmission in a satellite network environment. Many studies have been conducted to improve the performance of CRDSA. However, since the techniques for improving CRDSA to date use a form of increasing the number of duplicate packets, the packet transmission rate is improved rather than CRDSA, but the power efficiency is decreased due to an increase in the number of duplicated packets. As satellite terminals are developed to be compact and mobile, efficient random access technology is very important. In this paper, we propose to apply the non-orthogonal multiple access (NOMA) technique to CRDSA to improve the packet transmission rate while maintaining the same power efficiency as CRDSA. We propose a method to apply NOMA to satellite network and verify the performance of NOMA-CRDSA through simulation.

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

• First Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, myhome57@ajou.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

* Ajou University Department of Military Digital Convergence, iminu@ajou.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201902-476-A-RU, Received February 24, 2019; Revised March 20, 2019; Accepted April 8, 2019

I. 서론

위성 네트워크는 지형적인 제약 사항을 갖는 지상 통신의 한계를 극복하여 단말간의 통신을 지원 할 수 있는 매우 효과적인 통신 수단이다. 위성 네트워크는 넓은 통신 반경을 지원할 수 있고, 브로드캐스팅을 통해 효율적인 통신 서비스를 제공할 수 있다.

위성 네트워크에서 통신 채널의 자원을 할당하는 방법은 크게 고정 할당 (PA: Permanent Assignment), 요구 할당 (DA: Demand Assignment), 그리고 임의 접속 (RA: Random Access) 기법으로 구분된다. 고정 할당 방식은 시간, 주파수와 같은 통신 자원을 위성 단말에 미리 할당하는 방식이고, 요구 할당 방식은 위성 단말의 요구에 따라 타임 슬롯을 할당하는 방식이다.

위성 네트워크의 임의접속 방식은 MTC (Machine Type Communication)와 같은 메시지 통신 환경에서 효율적인 자원 활용을 위해 사용된다.^[1] 예를 들어, 저 궤도 위성을 이용하는 IoT (Internet of Things) 네트워크에서는 요구 할당 방식을 사용하는 것보다 임의 접속 방식을 사용하는 것이 더욱 효율적이다. 이는 데이터 트래픽이 간헐적으로 폭증하는 버스트 (burst) 특성을 갖기 때문에 요구할당으로 배정받은 자원을 효율적으로 사용하기 어렵기 때문이다. 이 때문에 고정 할당 방식이나 요구할당 방식을 사용할 경우 전송 지연이 매우 길게 발생하게 된다.^[2]

하지만, 임의접속 방식은 별도의 자원할당이 필요 없는 장점에도 불구하고, 패킷 전송율의 한계 때문에 위성통신의 제어 메시지와 같은 낮은 트래픽 환경에만 제한적으로 사용되었다. 임의접속 방식이 사용자 트래픽 전송에 사용될 수 있게 된 것은 2007년에 CRDSA (Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA) 기술이 제안되어 DVB-RCS2 (Second Generation Digital Video Broadcasting Interactive Satellite System)와 같은 국제 표준에 적용되면서 부터이다.^[3]

이후 CRDSA의 성능을 향상시키기 위한 많은 연구들이 이어졌다. CRDSA의 성능 향상 기법은 복제 패킷의 개수를 물리적으로 늘리는 방법과 논리적으로 늘리는 방법이 있다. 먼저 물리적으로 복제 패킷의 개수를 늘리는 방법은 CRDSA++, IRSA (Irregular Repetition Slotted ALOHA) 기법이 대표적이다.^[4,5] 논리적으로 복제 패킷의 개수를 늘리는 방법은 CSA (Coded Slotted ALOHA), PMSA (Polarized MIMO Slotted ALOHA), 그리고 PW-CRDSA (Pre-

Weighting based Contention Resolution Diversity Slotted ALOHA) 기법이 현재까지 제안되어 있는데, 각각의 기법은 부호화를 이용, 편파를 이용, 패킷에 가중치 부여하는 방법을 사용한다. 하지만 논리적으로 복제 패킷의 개수를 늘리는 방법은 물리적인 방식에 비해 위성 네트워크의 통신 방식과 같은 구조적인 변화가 필요하다.^[6-8]

본 논문에서는 물리적인 복제 패킷의 개수는 CRDSA와 동일하게 2개로 유지하면서 CRDSA의 성능을 향상 시키는 방법을 제안한다. CRDSA와 물리적인 복제 패킷의 개수를 유지하는 이유는 복제 패킷이 많아질수록 위성 단말에서의 임의 접속 시도가 증가하기 때문이다. 이로 인해 복제 패킷 송신을 위한 전력 소비가 증가하고, 위성 단말의 위치 노출 가능성^[9]이 높아지는 문제가 발생한다. 따라서, 위성 단말의 송신 전력 효율성이 감소하지 않으면서 임의 접속 패킷 전송율을 향상시키기 위해서는 물리적인 복제 패킷의 개수가 CRDSA 보다 증가하지 않도록 하는 것이 필요하다.

이를 위해 본 저자들은 앞선 연구에서 최근 5G 환경에서 이슈가 되고 있는 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 기법을 위성 네트워크 환경에서 CRDSA에 적용하여 효율적인 패킷 전송율 향상을 위한 연구를 수행하여, NOMA-CRDSA에서는 단 2개의 복제 패킷을 사용하여 전력 효율을 CRDSA와 동일하게 유지하면서, 패킷 전송 처리율이 크게 향상되는 것을 확인하였다.^[9] 본 논문에서는 [9]의 연구를 고도화하여 NOMA-CRDSA를 실용적으로 사용하기 위해 복제 패킷 전력 수준의 비율을 변경하며 효율적인 성능 향상을 위한 NOMA 응용 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 CRDSA 계열의 기술들을 살펴본다. III장에서는 위성 네트워크 환경에서 CRDSA에 NOMA 기법을 적용하는 방안을 제시한다. IV장에서는 NOMA-CRDSA의 실용적인 사용을 위해, 복제 패킷을 CRDSA와 동일하게 2개로 유지하면서, 송신 전력 수준을 2개로 나누어 송신 전력 수준별 비율 변경에 따른 NOMA-CRDSA의 성능을 시뮬레이션을 이용하여 검증한다. V장에서는 결론으로 본 논문을 매듭짓는다.

1) 복제 패킷 송신을 위해 1회 송신에 1개의 패킷을 송신한다고 가정한다.

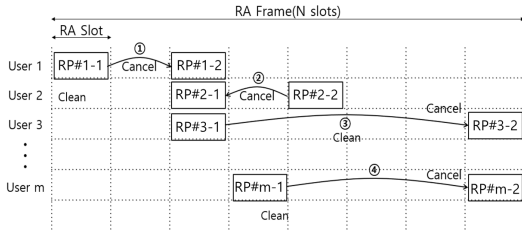


그림 1. CRDSA의 SIC 예시
Fig. 1. Example of the SIC of CRDSA

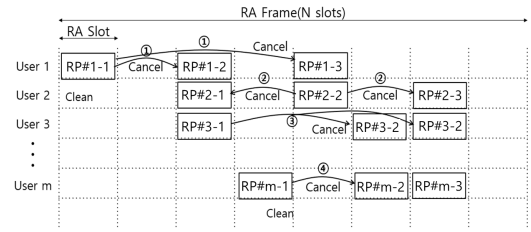


그림 2. CRDSA++의 SIC 예시
Fig. 2. Example of the SIC of CRDSA++

II. 관련 연구

2.1 물리적 복제 패킷 증가 방식

CRDSA 기술은 최대 처리율을 0.55 Packets/slot으로 증가시킨 방법이다.^[2] CRDSA 기술은 하나의 패킷을 전송하기 위해, 기존과 동일한 정보를 담고 있는 복제 패킷 한 개를 추가적으로 사용한다. 각각의 패킷은 서로의 위치 정보를 포함하고 있다. 하나의 슈퍼프레임 안에서 충돌이 나지 않은 패킷을 이용하여 다른 위치에 있는 자신의 복제 패킷을 제거하고, 이 제거 결과 충돌이 해소된 패킷을 이용하여 또 복제 패킷을 제거하는 순으로 충돌을 해소한다. 이러한 연속적인 간섭 제거 (SIC, Successive Interference Cancellation) 기술을 이용하더라도 복구할 수 없는 경우가 발생하는데 이것을 루프 (loop) 현상이라고 한다. CRDSA 계열의 기술에서는 복제 패킷의 개수를 늘리는 방법이 많이 사용되는데 복제 패킷의 증가는 루프 현상의 증가와 더불어 위성 단말의 전력 효율성을 감소시키게 된다.

그림 1은 m개의 사용자가 각각 1개의 복제 패킷을 추가적으로 사용하여 총 2개의 패킷을 전송하는 상황에서의 간섭 제거 과정을 보여준다. User 1은 1번/3번 타임 슬롯 (time slot)에 복제 패킷을 보냈고 User 2는 3번/5번, User 3은 3번/8번에 복제 패킷을 송신한다. User1은 두 개의 패킷 중 패킷 (RP#1-1)은 1번 타임 슬롯에서 충돌이 발생하지 않았다. 이 때문에 또 다른 패킷 (RP#1-2)는 3번 타임 슬롯에서 제거 된다. 같은 방식으로 5번 타임 슬롯에 있는 User2의 패킷 (RP#2-2)로 인해 3번 타임 슬롯의 User2 패킷 (RP#2-1)이 제거 된다. 그 결과 3번 타임 슬롯에 있는 User3의 패킷 (RP#3-1)의 충돌이 해소되어 패킷 정보를 복원하게 된다.

그림 2는 CRDSA++에서 복제 패킷 충돌 해소를 표현한 그림이다. CRDSA++는 CRDSA와 기본적인 원리는 동일하지만 CRDSA는 1개의 복제 패킷을 추

가적으로 사용했던 것과 달리 CRDSA++는 2개 이상의 복제 패킷을 추가적으로 사용한다.^[4]

IRSA는 두 가지 측면에서 CRDSA 기법을 일반화한다. 첫째 복제 패킷의 개수가 제한되지 않는다. 둘째 각 위성 단말에서 발생하는 복제 패킷의 개수를 획일적으로 통일하지 않는다. 패킷 전송율을 극대화 할 수 있도록 복제 패킷 개수에 대한 최적 분포 함수를 사용하여 각 위성 단말들이 전송할 패킷의 개수를 선택하는 방법이다.^[5]

CRDSA에 비해 CRDSA++와 IRSA 모두 패킷 전송률은 향상된다. 하지만 CRDSA 보다 많은 개수의 복제 패킷을 사용하기 때문에 위성 단말의 전송 전력 효율성은 낮아지게 된다.

2.2 논리적 복제 패킷 증가 방식

이외에도 물리적인 복제 패킷을 사용하지 않으면서 CRDSA 보다 향상된 패킷 전송율을 보여주는 기술도 있다. CSA는 송신 패킷을 부호화한 후 세그먼트로 나눈다. 나누어진 세그먼트를 슈퍼 프레임의 타임 슬롯에 임의접속 방식으로 전송하는 방법이다.^[6] PMSA는 MIMO (Multi-Input Multi-Output) 환경에서 전파의 편파 특성을 이용하는 방법이다.^[7] CRDSA 보다 향상된 성능을 보여주지만, 위성 단말과 위성체의 안테나가 편파를 송수신 할 수 있어야 적용이 가능한 한계가 있다.

PW-CRDSA는 MIMO 환경에서 채널 정보를 공유하고, 이 정보를 이용해서 사용자별 패킷에 가중치를 부여하는 방법이다.^[8] 이들 기술은 CRDSA에 비해 시스템이 복잡하고 위성통신 인프라가 이에 맞도록 구성되어야 한다.

III. NOMA-CRDSA 기법

3.1 임의 접속 위성망을 위한 NOMA 기술

비직교 다중 접속 기술인 NOMA 기술은 5G 통신

기술에서 채널 용량 향상을 위해 중요한 역할을 하는 기술이다.^[10] NOMA는 간섭 신호들의 신호 복원을 위해 채널 상태 정보 (CSI, Channel State Information) 를 사용한다. [11]에서는 완벽한 CSI 정보를 전제로 사전 정의된 송신 전력 레벨을 사용하여 PDMA (Power Division Multiple Access) 방식으로 NOMA 기술을 임의 접속에 이용하는 기법을 제시하였다.

NOMA-CRDSA도 [11]과 같은 PDMA 기반의 NOMA 기법을 사용한다. 위성망에서는 지상에 있는 네트워크 통제 센터 (NCC, Network Control Center) 에서 위성 단말들의 채널 상태를 모니터링한다. 위성 단말에서도 자신의 위성 채널 상태를 NCC에 알려준다. 이 때문에 위성 네트워크는 [11]과 같이 송신 전력 수준을 차등화 함으로써 다중 접속하기에는 매우 유리한 환경이다.

송신 전력 수준을 차등화 하기 위해, NOMA-CRDSA에서 사용할 전력 수준을 L 개라고 하자. L 개의 전력 수준은 L 값이 커질수록 송신 전력 값이 작아진다. 즉, $v_1 > \dots > v_L > 0$ 의 관계를 갖는다. 이때, l 번째의 송신 전력 값 v_l 은 다음과 같이 정의된다.^[10]

$$v_l = \Gamma(V_l + 1) \quad (1)$$

여기에서 Γ 는 중첩되어 수신된 신호들로부터 신호를 복구하기에 필요한 신호대잡음비 (SNR, Signal-to-Noise Ratio)이다. V_l 은 v_l 보다 작은 전력 값들의 총합이며, 다음과 같이 정의된다.

$$V_l = \sum_{m=l+1}^L v_m, \quad (\text{단, } V_L = 0) \quad (2)$$

다음 절부터는 CRDSA와 동일한 개수의 물리적 복제 패킷을 사용하기 위해 송신 전력 수준을 2개 (High, Low)로 구분하여 사용하는 NOMA-CRDSA 기법을 설명한다.

3.2 패킷 충돌 유형과 루프 현상 해소

입력 부하가 증가하면서 CRDSA의 성능이 감소하는 주요 원인은 2.1장에서 소개한 루프 현상 때문이다.^[3] 루프 현상은 패킷 충돌 유형 (PCT; Packet Collision Types)과 관련이 있다. CRDSA에서 충돌한 패킷의 간섭을 제거하기 위해서는 간섭을 구분하기 위한 정보가 필요하다. 하지만 CRDSA에서는 물리적으로 송신 전력 수준이 동일한 패킷을 사용하기 때문

에 전혀 충돌하지 않은 패킷 (clean packet)이 없으면 간섭을 해소할 수 없다.

하지만, NOMA-CRDSA에서는 L 개의 송신 전력 수준을 사용하는 경우, 패킷 충돌 유형은 한 가지 이상이 된다. 예를 들면 다음과 같다. High와 Low의 송신 전력을 갖는 NOMA-CRDSA에서 발생하는 패킷 충돌 유형은 High-High, High-Low, Low-High, Low-Low 이렇게 4가지가 된다. 그런데 High-Low와 Low-High는 물리적으로 같은 충돌 유형이기 때문에 하나로 볼 수 있으므로, 결국 2개의 송신 전력을 사용하는 NOMA-CRDSA의 패킷 충돌 유형은 3가지가 된다. 이것을 L 개의 송신 전력 수준을 사용하는 NOMA-CRDSA에 적용하면 다음과 같이 일반화해서 나타낼 수 있다.²⁾

$$PCT(L) = \frac{L(L+1)}{2} \quad (3)$$

그림 3은 송신 전력 수준을 High, Low로 구분하는 NOMA-CRDSA에서 루프 현상 해결 예를 보여준다. 이 그림에서는 임의 접속 프레임에 대해 2개의 송신 전력 수준으로 구성된 전력 도메인이 표현되어 있다. 현재의 임의 접속 프레임에는 6개의 위성 단말이 각각 2개의 복제 패킷을 보냈다. User 1은 송신 전력을 Low 수준으로 정하여 2개의 복제 패킷인 RP#1-1과 RP#1-2를 각각 1번, 2번 타임 슬롯으로 보냈다. User 4는 송신 전력을 High 수준으로 정하여 RP#4-1과 RP#4-2를 각각 1번, 3번 타임 슬롯으로 보냈다. 이러한 방법으로 다른 위성 단말들로 복제 패킷을 송신하였다.

그런데 타임 슬롯 1번, 2번, 3번에서 패킷 RP#1-1/2, RP#2-1/2, RP#4-1/2가 모두 충돌하여 간섭을 해소할 수 없는 루프 현상이 발생하였다. 이러한 경우에, CRDSA 기법으로는 루프 현상을 제거할 수 없다. 왜냐하면 루프 현상을 해소하기 위해서는 패킷 충돌 유형이 1보다 커야 하는데 CRDSA에서는 $PCT(1) = 1$ 이기 때문에 루프 현상을 해소할 수 없다.

하지만, 그림 3의 NOMA-CRDSA에서는 같은 송신 전력을 High와 Low의 2개 수준 (각각 v_{High} , v_{Low} 로 지칭)으로 나누었기 때문에, $PCT(2) = 3$ 이므로 루프 현상을 해소할 수 있는 기회가 추가로 발생한다.

2) PCT의 값은 등차수열로 구할 수 있다. 예를 들면 $PCT(2) = 3$, $PCT(3) = 6$, $PCT(4) = 10 \dots$ 이므로 식 (3)을 유도할 수 있다.

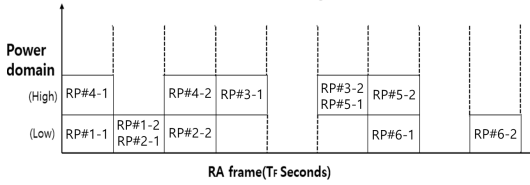


그림 3. 2가지 전력 수준 (High, Low)을 사용하는 NOMA-CRDSA의 루프 현상 해결 예시
Fig. 3. Example of NOMA-CRDSA with two power levels to resolve a loop phenomenon

이러한 원리로 NOMA-CRDSA는 CRDSA 보다 향상된 처리율을 제공한다.

3.3 NOMA-CRDSA의 복제 패킷 송신 전력 수준 결정

식 (1)에 의해서, 중첩된 신호에서 전력 수준에 따라 수신 신호를 구분해 내기 위해 필요한 SNR 값은 Γ , 수신측의 수신 신호 세기는 v_l 이 된다.

본 논문에서는 송신 전력 수준을 High, Low 2단계로만 구분하는 가장 기본적인 NOMA-CRDSA를 가정한다. 이때, 패킷 송신 전력 수준 High, Low에 대한 전력 수준은 수신된 신호에서 간섭 신호를 분리할 수 있도록 SNR 값 Γ 에 따라 다음 조건을 충족해야 한다.

$$\begin{cases} v_{Low} = \Gamma(V_{Low} + 1) \\ v_{High} = \Gamma(V_{High} + 1) \end{cases}, \quad (4)$$

(단, $V_{Low} = V_0$, $V_{High} = v_{Low} + v_{High}$)

각 위성 단말에서 복제 패킷을 생성하는 방식은 복제 패킷의 전력 수준을 서로 동일하게 만드는 것과 서로 다르게 만드는 것으로 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 즉, 한 단말에서는 v_{Low} 와 v_{High} 중에서 하나를 선택하여 그림 3과 같이 동일한 패킷 송신 전력을 갖는 복제 패킷을 만들 수 있다. 또는, v_{Low} 와 v_{High} 를 배타적으로 생성하는 방법도 있다. 이에 대한 성능 비교를 4장 모의실험 및 결과 분석에서 살펴본다.

IV. 모의실험 및 결과 분석

NOMA-CRDSA의 성능은 입력 부하에 대한 패킷 전송율로 확인된다. NOMA-CRDSA의 패킷 전송 전력 수준이 패킷 전송율에 미치는 영향을 분석하기 위해 패킷 전송 전력 수준의 비율을 변경하며 모의실험을 수행하였다.

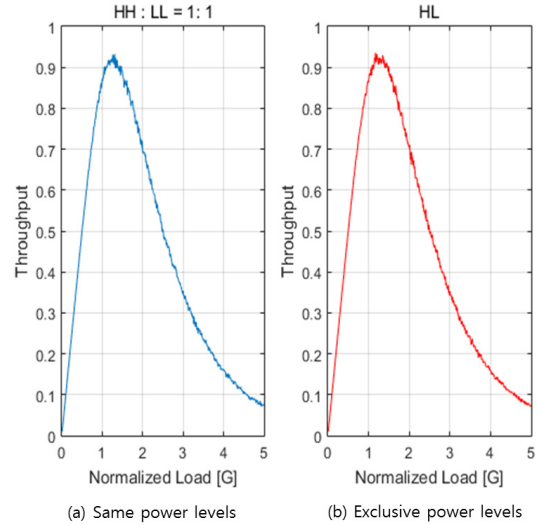


그림 4. 위성 단말의 복제 패킷 전력 수준 생성 방식에 따른 패킷 전송률 비교 (a) 동일한 전력 수준을 갖는 복제 패킷 생성, (b) 배타적인 전력 수준을 갖는 복제 패킷 생성
Fig. 4. Compare to the Throughput between (a) same power levels and (b) exclusive power levels of replicas at a satellite terminal

4.1 실험 모델

NOMA-CRDSA 모의실험은 MATLAB을 사용하여 수행하였다. 임의의 접속 프레임은 총 100개의 타임 슬롯, 위성 단말은 최대 500대로 구성하였다.

본 연구에서는 NOMA-CRDSA의 패킷 전송을 확인시 다른 논문 [3-6]과 동일하게 송신 실패 패킷에 대한 재전송 (backlog)은 없는 것으로 가정 하였다.

4.2 복제 패킷 전력 수준의 생성 방식 비교

NOMA-CRDSA에서 복제 패킷 전력 수준을 생성하는 방식은 두 가지가 있다. 하나의 위성 단말에서 두 개의 복제 패킷이 동일한 전력 수준을 갖는 방법과 배타적으로 서로 다른 전력 수준을 갖는 방법이다.

그림 4는 복제 패킷 전력 수준의 생성 방식을 비교한 모의 실험 결과이다. 그림 4. (a)는 복제 패킷이 동일한 송신 전력을 갖도록 생성하는 경우이다. 각 위성 단말에서는 송신 전력 수준 v_{High} 와 v_{Low} 을 갖는 복제 패킷의 비율이 1:1 되도록 하였다. 즉, 총 500대의 위성 단말 중 250대는 v_{High} 로 복제 패킷을 생성하여 송신하고, 나머지 250대는 v_{Low} 로 복제 패킷을 생성하여 송신하도록 하였다.

그림 4. (b)는 복제 패킷이 배타적으로 서로 다른 송신 전력을 갖도록 생성하는 경우이다. 각 위성 단말에서는 하나는 v_{High} 을 갖는 복제 패킷 하나와 v_{Low} 을

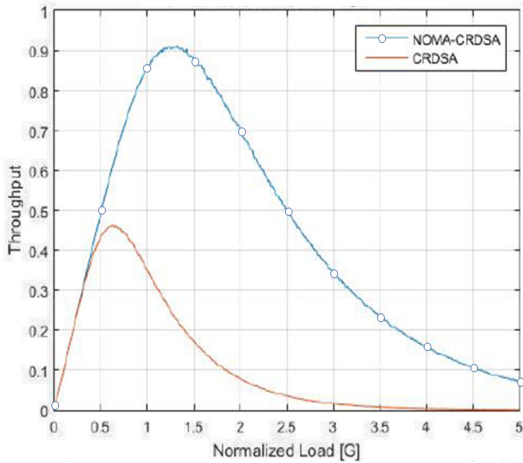


그림 5. CRDSA와 NOMA-CRDSA의 패킷 전송율 비교 (배타적인 전력 수준을 갖는 복제 패킷 생성)
Fig. 5. Comparison of the normalized throughput between CRDSA and NOMA-CRDSA (exclusive power levels of replicas for a satellite terminal)

갖는 복제 패킷을 생성하도록 하였다.

그림 4를 보면 두 경우 거의 비슷한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 두 가지 상황 모두 입력 부하가 증가함에 따라 최대 패킷 전송율은 0.93 packets/slot으로 나타났다.

이를 통해 유추해 볼 수 있는 것은 NOMA-CRDSA를 적용할 때 복제 패킷의 송신 전력 수준을 동일하게 하거나 배타적으로 다르게 하더라도 성능에는 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 위성망에 NOMA-CRDSA를 적용하는데 있어서 매우 큰 이점을 제공한다. 왜냐하면, 각 위성 단말들은 위성망 전체에서 복제 패킷의 비율을 고려하지 않고, 각 단말에서 배타적으로 생성해도 전체 성능에는 영향을 미치지 않기 때문이다.

그림 5는 배타적인 전력 수준을 갖는 복제 패킷을 생성하는 NOMA-CRDSA와 CRDSA의 패킷 전송율을 비교한 것이다. CRDSA의 최대 패킷 전송율에 비해 NOMA-CRDSA의 최대 패킷 전송율이 약 2배 향상된 것을 확인할 수 있다 특히 입력 부하 G 가 매우 큰 고부하 상황에서도 높은 패킷 전송율을 제공한다.

다음 모의실험에서는 복제 패킷 전력 수준의 전체 비율이 NOMA-CRDSA에 미치는 영향을 분석한다.

4.3 복제 패킷 송신 전력 수준의 전체 비율 비교

이번에는 NCC에서 위성망 전체에 대해 복제 패킷의 송신 전력 수준의 전체 비율을 통제하는 환경을 대상으로 모의실험을 수행한다.

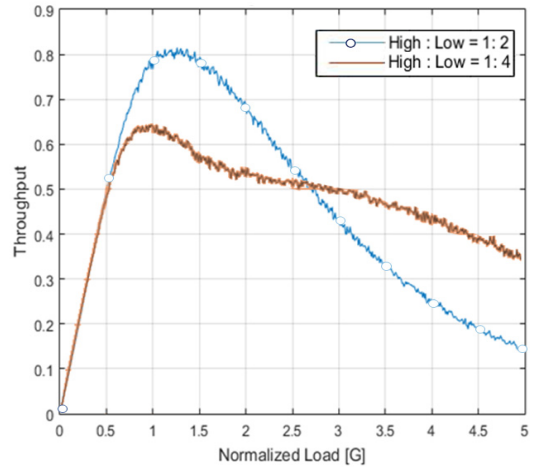


그림 6. 전체 복제 패킷 전력 수준 비율 변동에 따른 패킷 전송률 비교
Fig. 6. Comparison of the normalized throughput for changing power levels ratios

앞서 언급했듯이, 위성망에서는 네트워크 관리를 위해 NCC의 역할이 중요한데, NCC는 위성 단말들의 채널 상태 정보, 위성망 전체의 트래픽 현황을 모두 파악한다. 이 때문에 NCC에서는 위성 단말들에 대해 복제 패킷의 송신 전력 수준을 어떤 정책에 따라 통제할 수 있다.

그림 6은 복제 패킷의 비율을 v_{High} 와 v_{Low} 에 대해 1:2와 1:4로 각각 조정된 경우에 대한 패킷 전송율을 비교한 것이다.³⁾

복제 패킷 비율의 차이가 커질수록 최대 전송율은 감소하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 복제 패킷 비율에 따라 고부하 환경에서 패킷 전송율의 감소율이 더디지는 것을 관찰 할 수 있다. 즉, 고부하 상황에서는 v_{Low} 와 v_{High} 전력의 패킷 비율을 조정함으로써 특정 위성 단말에게 우선순위를 부여할 수도 있음을 보여 준다.

이러한 특징은 복제 패킷 송신 전력 수준의 전체 비율을 통제하면 입력 부하가 커지는 상황, 즉 재난이나 전쟁이 발생하는 경우에 특정 패킷들에 대한 우선 송신권을 부여하는데 활용될 수 있다.

4.4 NOMA-CRDSA의 전력 효율 비교

채널 환경에 따른 송신 전력의 효율 ($\tilde{\eta}_j$)은 다음과 같이 normalized efficiency로 나타낸다.^[5]

3) High:Low=1:2과 High:Low=2:1, High:Low=1:4과 High:Low=4:1인 경우는 모의실험 결과가 각각 동일하다.

$$\tilde{\eta}_j = \frac{C_j}{C_{ref}} \quad (5)$$

여기에서 j 는 선택한 접속 기법을 의미한다. C_j 는 j 접속 기법의 채널 용량이고, C_{ref} 는 가우시안 채널 용량을 의미하며, 각각 아래와 같이 정의 된다.

$$C_{ref} = \log\left(1 + \frac{P_S}{P_N}\right) \quad (6)$$

$$C_j = T_j(G) \cdot \log\left(1 + \frac{P_S}{P_N \cdot D_j}\right) \quad (7)$$

여기에서 P_S , P_N 은 각각 신호 전력과 잡음 전력 이고, $T_j(G)$ 는 입력 트래픽이 G 값일 때의 패킷 전송율을 의미한다. D_j 는 복제 패킷 전송에 사용된 전력과 정보 패킷 전송에 사용된 평균 전력과의 비율이다.^[5]

표 1에 정리되어 있는 것처럼, 들어 CRDSA는 하나의 정보 패킷을 전송하기 위해 1개의 복제 패킷을 추가적으로 전송하므로 $D_{CRDSA} = 2G$ 가 된다. NOMA- CRDSA의 복제 패킷 개수는 CRDSA와 동일하므로, $D_{NOMA-CRDSA} = D_{CRDSA} = 2G$ 이다. 그리고, CRDSA++는 3개의 복제 패킷을 사용하는 경우 $D_{CRDSA++} = 3G$ 이 된다. IRSA도 최적 분포 함수에 따라 1개 이상의 복제 패킷을 추가적으로 전송하는 단말이 다수 발생하므로 $2G$ 이상의 값을 필연적으로 갖는다.

따라서 식 (7)과 표 1을 비교하여 보면 NOMA-CRDSA의 송신 전력 효율은 CRDSA에 비해 높아지게 된다. 왜냐하면 NOMA-CRDSA는 물리적인 복제 패킷의 개수가 CRDSA와 동일하지만, NOMA에 의해 패킷 충돌 유형이 증가함으로써 CRDSA에 비해 패킷 전송율이 향상되었기 때문이다. CRDSA 계열

표 1. 복제 패킷의 개수 비교
Table 1. Comparison of the normalized power efficiency among the schemes ($E_s/N_0 = 12dB$)

Scheme	Power ratio for transmitting a packet(D_j)
CRDSA	$2G$
CRDSA++ ⁴⁾	$3G$
IRSA ⁵⁾	$A'(1)$
NOMA-CRDSA	$2G$

기술 중에서 CRDSA 보다 패킷 전송율을 향상 시키면서 CRDSA와 동일한 전력 효율을 갖는 것은 NOMA-CRDSA가 유일하다고 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 CRDSA와 동일한 전력 효율을 유지하면서 효율적으로 성능을 향상시키는 연구를 수행하였다. NOMA 기술을 CRDSA 기술에 적용하여 CRDSA와 동일 수준의 전력 효율성을 가지면서 패킷 전송율은 약 2배 향상된 성능을 보였다.

5G 통신기술, IoT, MTC 등 위성망과 연계되는 서비스들은 전력 효율성이 우수한 임의 접속 기술을 필요로 한다. 또한, 재난, 국지전 발발 등 갑작스런 위성 망 트래픽 폭주 상황에서 우선순위를 고려한 임의 접속 기술이 요긴하게 활용될 것이다. NOMA-CRDSA는 이러한 요구사항들을 충족하는 기술로써 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] B. Zhao, G. Ren, and H. Zhang, "Multisatellite cooperative random access scheme in low earth orbit satellite networks," *IEEE Syst. J.*, 2018.
- [2] H. J. Noh, Y. S. Lee, J. S. Lim, H. W. Park, and H. S. Lee, "Fast congestion control to transmit bursty traffic rapidly in satellite random access channel," *J. KICS*, vol. 39C, no. 11, pp. 1031-1041, Nov. 2014.
- [3] E. Casini, R. D. Gaudenzi, and O. D. R. Herrero, "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): An enhanced random access scheme for satellite access packet networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1408-1419, Apr. 2007.
- [4] R. D. Gaudenzia and O. D. R. Herrero, "Advances in random access protocols for satellite networks," *2009 Int. Workshop on Satellite and Space Commun.*, pp. 331-336,

4) 3개의 복제 패킷을 사용하는 CRDSA++

5) IRSA의 $A_3(x) = 0.5x^2 + 0.28^3 + 0.22x^8$ 일 때의 최대 전송율을 기준으로 작성하였다.^[5]

Tuscany, Italy, Sep. 2009.

- [5] G. Liva, "Graph-based analysis and optimization of contention resolution diversity slotted ALOHA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 2, pp. 477-487, Feb. 2011.
- [6] E. Paolini, G. Liva, and M. Chiani, "High throughput random access via codes on graphs: Coded slotted ALOHA," in *Proc. IEEE ICC 2011*, Kyoto, Japan, Jun. 2011.
- [7] J. Bai and G. Ren, "Polarized MIMO slotted ALOHA random access scheme in satellite network," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 26354-26363, Nov. 2017.
- [8] B. Zhao, G. Ren, and H. Zhang, "Pre-weighting based contention resolution diversity slotted ALOHA scheme for geostationary earth orbit satellite networks," *IEICE Trans. Commun.*, 2018.
- [9] H. K. Lim, M. W. Lee, and J. S. Lim, "NOMA for enhancing CRDSA in satellite network," in *Proc. KIMST Conf. 2018*, pp. 1035-1036, Daejeon, Korea, Nov. 2018.
- [10] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. S. Kwak, "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges," *IEEE Commun. Surv. and Tuts.*, vol. 19, no. 2, pp. 721-742, Oct. 2016.
- [11] J. Ho. Choi, "NOMA-based random access with multichannel ALOHA," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 35, no. 12, pp. 2736-2743, Dec. 2017.

임형규 (Hyeongkyu Lim)



2019년 2월 : 아주대학교 국방
디지털융합학과 졸업
2019년 6월 : 공군 정보통신 장교
<관심분야> 위성통신, 항공통
신, 전술데이터링크
[ORCID:0000-0002-4440-9700]

이민우 (Minwoo Lee)



1998년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과 졸업
2013년 2월 : 아주대학교 일반
대학원 NCW공학박사
2019년 3월 : 아주대학교 국방
디지털융합학과 대우교수

<관심분야> 위성통신, 사이버전, 사이버전자전
[ORCID:0000-0001-7109-4700]

임재성 (Jaesung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자
공학 학사
1985년 2월 : KAIST 영상통신
석사
1994년 2월 : KAIST 디지털통
신 박사
1998년 3월~현재 : 아주대학교
소프트웨어학과 정교수

2004년 3월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연
구센터장
<관심분야> 이동 및 위성통신, 무선네트워크, 국방
전술통신
[ORCID:0000-0003-0080-9398]