

무인기 RAN 슬라이싱 지원을 위한 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘

조준우*, 이충희*, 박형원*, 김재현°

Dynamic Inter-Slice Resource Allocation Algorithm for RAN Slicing Support in UAV

Jun-Woo Cho*, Choong-Hee Lee*, Hyung-Won Park*, Jae-Hyun Kim°

요 약

5G 생태계에서 무인기는 다양한 서비스들의 quality of service (QoS)를 만족하기 위해 radio access network (RAN) 슬라이싱을 적용할 수 있다. 하지만 무인기는 탑재 가능한 기능이 제한적이기 때문에 공유 무선자원을 각 슬라이스들이 적절히 분배하는 방안이 필요하다. 또한 5G에서는 QoS에 따라 physical resource block (PRB)가 변화하기 때문에 이러한 특성도 자원 할당에 반영해야 한다. 따라서 본 논문에서는 각 서비스들의 QoS를 고려하여, 무인기의 자원 사용량을 최대한으로 하는 동적 슬라이스 간 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 동적 네트워크 환경에서 주기적으로 서비스 분포를 고려한 다음, QoS와 자원 효율성을 고려해 가장 성능이 좋은 PRB를 선택하여 자원 할당을 수행하는 과정을 거친다.

Key Words : communication, signal processing, Neutral systems, Communication Sciences, Network

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) can apply radio access network (RAN) slicing to satisfy the quality of services (QoS) of various services in the 5G ecosystem. However, it is necessary to efficiently distribute limited radio resources to each slice since UAV has limited functions that can be mounted. Besides, it should be considered in resource allocation that 5G system support various type of physical resource block (PRB) because of QoS. In this paper we propose a dynamic inter-slice resource allocation algorithm that maximizes the resource efficiency by considering service QoS. It periodically considers service distribution in a dynamic network environment, and then selects the best PRB in consideration of QoS and resource efficiency and performs resource allocation.

I. 서 론

5G 시스템에서 무인기는 새로운 형태의 radio

access network (RAN)으로써 5G 서비스를 제공하기 어려운 지역(여객기, 여객선, 고속 전차 등)이나 5G 서비스 품질이 떨어지는 지역에 서비스 연속성을 제

* 본 연구는 LIG넥스원이 지원하는 “5G 기반 공중 통신중계망 네트워크 설계 기술 연구” 과제의 일환으로 수행되었습니다. (LIGNEX1-2019-0959(00))

• First Author : Ajou University Department of Artificial Intelligence Convergence Network, cjw8945@ajou.ac.kr, 학생회원

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

* LIG NEX1, Korea, choonghee.lee@lignex1.com, 정희원; hyungwon.park@lignex1.com, 정희원

논문번호 : 202010-261-B-RN, Received October 19, 2020; Revised November 27, 2020; Accepted December 15, 2020

공하고 서비스 지속성을 보장해야 한다. 이를 위해 3GPP에서는 무인기에 5G new radio (NR) 기술을 적용하기 위한 표준화를 수행하고 있다¹². 5G NR 기술이 무인기에 적용된다면 기존과는 다른 새로운 5G 서비스들도 무인기에서 제공할 수 있게 된다^{3,4}. 하지만 5G 서비스들은 지연시간, 데이터율, 오류율 등 다양한 quality of service (QoS)를 가지고 있기 때문에 이를 보장하는 방안이 필요하다. 따라서 무인기에 네트워크 슬라이싱 기술을 적용하는 방안이 연구되고 있다⁵.

네트워크 슬라이싱은 물리 네트워크를 여러 개의 독립적인 논리 네트워크(슬라이스)로 분리하는 기술이다. 따라서 슬라이스마다 서비스에 필요한 기능들이나 QoS를 달리 설정할 수 있고 서비스 공급자는 서비스 특성에 알맞은 슬라이스를 통해 사용자와의 service level agreement (SLA)를 만족할 수 있다. SLA는 서비스 제공자와 사용자가 서비스에 대한 보장 권리를 합의한 문서 또는 계약사항을 의미한다^{6,7}.

하지만 서비스 공급자와 사용자의 SLA를 만족하기 위해서는 슬라이스가 단대 단으로 구성되어야 하며, 이를 위해서는 software define network (SDN)/network function virtualization (NFV) 기술이 코어 망뿐만 아니라 RAN에도 적용되어야 한다. 이때 RAN에서의 네트워크 슬라이싱을 RAN 슬라이싱이라고 하며 다음과 같은 요구 사항들을 만족해야 한다⁸⁻¹³.

■ **동적 자원 관리:** 동적 자원 관리란 실시간으로 변화하는 서비스 환경 (채널 상태, 유저 수, 트래픽 비율 등)과 각 슬라이스의 QoS를 고려하여 자원을 동적으로 할당하는 것을 의미한다. 이를 위해서는 특정 주기마다 서비스 환경을 분석하고 슬라이스의 QoS에 맞는 자원을 할당할 수 있어야 한다⁸.

■ **슬라이스 간 자원 독립 방안:** 슬라이스 간 자원 독립이란 한 슬라이스에서 할당받은 자원을 다른 슬라이스와 공유하지 않는 것을 의미한다. 따라서 RAN은 할당 가능한 자원을 적절히 분배하여 슬라이스 간에 자원이 겹쳐지지 않도록 관리해야 한다. 자원 독립 방안에는 다양한 방법이 있지만, 멀티플렉싱을 통해 각 슬라이스를 대역별로 격리하는 방법이 있다¹³.

무인기에서 RAN 슬라이싱을 수행하기 위해서는 위와 같이 자원 할당과 관련된 요구 사항들을 만족해야 한다. 하지만 대부분의 RAN 슬라이싱 연구에서는 슬라이스의 QoS를 고려하지 않거나, 고려하고 있다고 하더라도 같은 physical resource block (PRB)를 활용해 자원 할당을 수행하고 있다. PRB는 자원 할당의 기본단위로, 5G에서는 슬라이스의 QoS에 따라 부반송과 간격(SCS: subcarrier spacing)이 다른 PRB를

선택할 수 있다¹⁴. 게다가 무인기는 탑재할 수 있는 장비가 제한적이기 때문에 자원 효율성도 고려하여 PRB를 선택할 수 있어야 한다. 자원 효율성이란 할당 가능한 자원 영역 대비 실제로 할당되는 PRB의 수를 의미하며, 그 비율이 높다면 무인기의 자원을 충분히 활용하고 있다고 판단할 수 있다. 따라서 무인기에서 RAN 슬라이싱을 지원하기 위해서는 동적 자원 관리 및 슬라이스 간 자원 독립 방안을 만족함과 동시에 자원을 최대한으로 활용하는 방안이 마련되어야 한다.

본 논문에서는 각 슬라이스의 QoS 만족함과 동시에 무인기의 제한적인 자원을 최대한으로 활용할 수 있는 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 먼저 무인기가 RAN 슬라이싱을 수행할 수 있는 RAN 슬라이싱 구조를 설계하였으며, 동적으로 변화하는 서비스 환경을 고려해 슬라이스 간 자원 독립을 만족하는 자원 할당 구조를 제시한다. 특히 자원 할당 구조에서는 각 슬라이스의 QoS 모델을 포함하는데, 이는 본 논문의 목적을 달성하기 위한 제약조건이 된다. 다음으로는 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘을 제안하는데, 이 과정에서는 본 논문의 목적과 제약조건들이 반영된 최적화 모델과 함께 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다. 이후 제안하는 알고리즘의 자원 할당 결과와 함께 PRB가 고정된 경우와의 자원 효율성을 비교한다.

본 논문의 학술적 기여도는 첫 번째로 사용자 활성화 모델에 기반을 둔 동적 서비스 환경을 구성하여 슬라이스 간 동적 자원 할당을 수행한 것이다. 기존의 연구들은 슬라이스마다 할당 가능한 자원을 미리 지정하거나 슬라이스의 자원 할당 우선순위를 고정하고 있다. 하지만 본 논문에서는 시간에 따라 사용자들의 수가 변화하고 그에 따라 서비스 분포가 변화한다. 따라서 서비스 분포를 슬라이스의 자원 할당 우선순위(가중치)로 설정하여 동적으로 슬라이스 간 자원을 할당할 수 있도록 한다. 두 번째는 서비스의 QoS를 고려함과 동시에 자원 효율성을 고려하여 각 슬라이스에 적합한 PRB를 찾는 과정을 포함한 것이다. 기존의 연구에서는 PRB의 형태가 고정적이지만, 본 논문에서는 슬라이스의 QoS와 자원 효율성을 고려해 PRB를 선택함으로써 제한적인 자원을 최대한으로 활용하는 방안을 고려할 수 있게 된다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. II장에서는 관련 연구 동향을 소개하고, III장에서는 시스템 모델에 관해서 설명하고, IV장에서는 제안하는 자원 할당 알고리즘을 설명하고, V장에서는 성능 분석을 수행하며, VI장에서 결론을 맺는다.

II. RAN 슬라이싱 구조 및 자원 할당 관련 연구 동향

2.1 RAN 슬라이싱 구조

2.1.1 RAN 기능 분리

기존의 centralized-RAN (C-RAN)은 데이터 처리를 수행하는 baseband unit (BBU)에 radio frequency (RF)가 탑재된 여러 대의 remote radio header (RRH)들이 광케이블로 연결된 프론트홀 구조를 가진다. 그러나 5G의 폭증하는 데이터 수요를 감당하기 위해서는 프론트홀의 용량을 높여야 하는데, 기존의 C-RAN 구조에서는 이를 위해 광케이블을 추가로 설치해야 하므로 망 구축비용이 비싸진다. 따라서 비용을 절감함과 동시에 프론트홀의 용량을 낮출 수 있는 RAN 기능 분리 방안이 제안되고 있다¹⁵⁻¹⁸⁾.

RAN 기능 분리란 RAN 기능인 RF, PHY, medium access control (MAC), radio link control (RLC), packet data convergence protocol (PDCP), radio resource control (RRC)를 새로 제안된 RAN 구조인 distributed unit (DU)와 central unit (CU)에 각각 분리하는 것을 의미한다. 기존 C-RAN의 BBU와 비슷하게 CU는 중앙 집중화되어 있으며 상위계층의 RAN 기능이 위치하고, DU에는 하위계층의 RAN 기능이 위치한다. 하지만 기능 분리 지점은 요구되는 대역폭 및 지연시간 등에 따라 달라진다. 만약 DU가 RF만 포함한다면 기존의 C-RAN과 같이 요구 대역폭은 높아지지만 데이터 처리를 수행하지 않기 때문에 지연시간이 낮아질 수 있다. 하지만 DU가 상위계층을 포함하는 경우에는 데이터 처리를 수행하므로 요구 대역폭은 낮아지지만, 지연시간이 높아진다¹⁷⁾.

최근에는 5G의 서비스 시나리오에 맞춰 RAN 구조를 radio unit (RU), DU, CU로 분리하여 RAN 기능들을 각 구조에 분리하는 이중 분리 방안이 논의되고 있다. 대표적인 방법에는 RF와 PHY를 RU에, MAC과 RLC를 DU에 나머지 PDCP, RRC 등을 CU에 분리하는 방법과 PHY의 기능을 Low-PHY와 High-PHY로 세분화하여 RF와 Low-PHY를 RU에, High-PHY, MAC, RLC를 DU에 나머지 상위 기능들을 CU에 배치하는 방법이 있다. 이는 ultra reliability low latency communication (URLLC) 서비스 지원이 가능하고, 망 확장성이 높다는 장점이 있다. 하지만 프론트홀의 요구 대역폭이 높고 허용 지연시간이 낮다는 단점이 있다^{16,17)}.

2.1.2 RAN 슬라이싱을 위한 기능 구현

RAN에서 슬라이싱을 제공하기 위해서는 RAN 기능들이 virtual network function (VNF)로 구현되어야 한다. VNF는 NFV 환경에서 네트워크 기능을 수행하기 위한 소프트웨어 패키지를 의미하는데, 이들을 SDN으로 연결한 것이 바로 슬라이스이다. 그러나 RAN 기능 전체를 VNF로 구성하지는 않으며, 슬라이스마다 공통된 부분(예를 들어 단일 RF를 통해 무선 자원을 슬라이스들이 공유하는 환경)은 physical network function (PNF)로 구현한다. 일례로 소형셀 환경에서는 PHY와 MAC 구간을 분리하여, RF와 PHY는 PNF, MAC 이상 계층은 VNF로 구현하는 방안이 제안되었다¹⁸⁻²⁰⁾.

2.2 슬라이스 간 자원 할당 방안

[11]의 연구에서는 각 슬라이스의 SLA를 보장하기 위한 RAN 기능 분리 구조와 함께 동적 슬라이스 간 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 슬라이스 간 자원 할당 알고리즘은 슬라이스마다 정해진 자원 영역에 사용자들의 자원을 일차적으로 할당하고, 남은 자원 영역에 추가로 할당 가능한 사용자들의 자원을 재할당하는 과정을 거친다. 이때 사용자들의 자원 할당은 round robin 스케줄링 방식으로 수행되며, 재 할당 과정에서는 남은 자원 영역과 할당 가능한 사용자들의 자원으로 구성된 cost function을 만들어 그 값이 낮아질 때까지 알고리즘을 반복 수행한다. [11]에서는 자원을 최대한 활용하기 위한 방안이 마련되어 있지만, 각 슬라이스의 가중치와 슬라이스별 자원 영역들이 고정되어 있으며, PRB 역시도 고정된 값을 사용하고 있다¹¹⁾.

[12]의 연구에서는 슬라이스 간 자원 할당뿐만 아니라 슬라이스 내 자원 할당을 수행하는 2계층 스케줄러 구조를 제안하였다. 슬라이스 간 자원 할당을 수행하는 resource mapper (RM)은 슬라이스들이 공유하는 물리 자원을 추상화하여 각 슬라이스에 배분하는 임무를 수행한다. 따라서 시스템 전체적인 자원을 총괄 관리하는 임무를 수행한다. 슬라이스 내 자원 할당을 수행하는 slice resource manager (SRM)은 추상화된 자원을 바탕으로 슬라이스 내 사용자들의 자원 할당을 수행한다. [12]는 슬라이스 간 자원 할당과 슬라이스 내부의 자원 할당을 수행하는 스케줄러를 설계함으로써 슬라이스의 자원 독립성을 지원하고, 동적 자원 할당을 수행할 수 있게 하였다. 그러나 [12]는 4G망을 기반하고 있기 때문에 PRB가 고정되어 있으며, 그 형태도 정확하게 명시하지 않았다¹²⁾.

[13]의 연구에서는 기존의 알고리즘에 비해 낮은 복잡도와 높은 유연성을 가진 RAN 슬라이싱 지원 할당 알고리즘을 제안하였다. 낮은 복잡도를 달성하기 위해서 [13]에서는 슬라이스 간 자원 할당 방안과 슬라이스 내 자원 할당 방안을 별개의 문제로 구성하였으며, 이를 통해 단일 계층 스케줄러 대비 제안한 2계층 스케줄러의 복잡도가 낮아지는 것을 확인하였다. 또한, 기존의 알고리즘과는 달리 각 슬라이스의 QoS를 고려하였고, 이를 슬라이스의 가중치로 설정하여 다양한 서비스 환경에 대처할 수 있는 유연성을 보여주었다. 하지만 [13]에서는 고정된 PRB를 사용하고 있으며, 동적 환경이 아닌 정적 환경을 구성하여 성능 검증을 수행하였다^[13].

III. 시스템 모델

3.1 시스템 요소

무인기가 RAN 슬라이싱을 지원하기 위한 시스템 요소에는 드론 및 지상 internet of things (IoT)로 구성된 사용자와 무인기 RAN, 지역 기지 및 중앙 기지가 있다. 드론은 주기적으로 제어 및 상태 정보를 교환하기 위해 C2&Mission 슬라이스를 활용하고, 지상 IoT 장비는 영상 정보와 센서 정보를 각각 eMBB 슬라이스와 mMTC 슬라이스를 통해 전달한다. 하지만 주기적으로 정보를 교환하는 드론과는 달리 지상 IoT는 비주기적으로 정보를 전송하기 때문에 매 순간순간 활성화되는 수가 다르다. 따라서 동적 슬라이스 간 자원 관리를 위해서는 시간에 따른 각 사용자의 활성화 여부를 고려해야 한다.

■ **주기성 서비스 사용자 활성화:** 드론은 사람이 탑승하지 않고 프로그래밍을 통해 비행하기 때문에 주기적으로 제어 및 상태 정보를 교환한다. 물론 모든 제어 및 상태 정보들이 주기적으로 교환되는 것은 아니지만, 본 논문에서는 이들이 주기성을 가지고 있으며 서로 상호 보완적이라고 가정한다. 만약 드론 1대가 $[0, T]$ 동안 동작하고, 제어 및 상태 정보의 전송 주기가 τ_n 으로 서로 같다고 할 때, T 초 동안 드론이 전달한 정보의 횟수는 $\lfloor T/\tau_n \rfloor$ 이 된다. 이때, $\lfloor x \rfloor$ 는 내림 함수이며, x 보다 크기 않는 정숫값을 구하는 함수이다.

■ **비주기성 서비스 사용자 활성화:** 지상 IoT는 사람 또는 특정 환경에 의해 발생하는 이벤트로 인해 정보를 전달한다. 따라서 시간마다 활성화되는 지상 IoT의 수는 서로 다르다. 하지만 특정 주기 내에서 이

들의 활성화는 특정 확률 분포를 따른다. 만약 총 L 개의 지상 IoT들이 구간 $[0, T]$ 동안 모두 활성화된다고 한다면, 활성 분포는 파라미터 α 와 β 를 가지는 beta 분포를 따른다. 여기서 α 와 β 는 초모수로 베타 분포의 형태를 결정한다. 따라서 구간 $[0, T]$ 내 특정 구간 $[t_{n-1}, t_n]$ 에서 활성화되는 IoT 장비의 수, N^{IoT} 는 (1)과 같이 모델링 할 수 있다^[21].

$$N^{IoT} = L \int_{t_{n-1}}^{t_n} \frac{t^{\alpha-1} (T-t)^{\beta-1}}{T^{\alpha+\beta-1} B(\alpha, \beta)} dt. \quad (1)$$

$B(\alpha, \beta)$ 는 파라미터 α, β 를 가지는 베타함수를 의미한다.

3.2 무인기 RAN 슬라이싱 시스템 구조

무인기가 RAN 슬라이싱을 지원하기 위한 시스템 구조는 그림 1과 같다. 여기서 virtual DU (vDU), virtual CU (vCU)는 VNF로 구현된 RAN 구조를 의미하며, uav traffic management (UTM)은 무인기 운용을 위해 비행체 등록 데이터, 기상데이터, 운항데이터 등을 제공하는 data network (DN)이고, user plain function (UPF)는 RAN으로부터 전달받은 데이터를 DN으로 전달하는 기능이다^[22,23].

이처럼 이중 분리 방안의 RAN 구조를 제안하는 이유는 무인기 RAN에서부터 슬라이스를 제공하기 위함과 동시에 C2&mission 슬라이스의 QoS인 지연 시간을 만족하기 위해서이다. 무인기 RAN은 탑재할 수 있는 장비들이 제한적이기 때문에 슬라이스들은 공통된 무선 자원을 적절히 분배하여 사용해야 한다. 따라서 RF와 PHY는 PNF로 구현하는 반면 나머지 RAN 기능들은 슬라이스의 자원 독립성을 위해 VNF로 구현한다. 그러나 VNF로 구현된 MAC 기능이 지역 기지나 중앙 기지에 있는 경우, 무인기가 슬라이스를 제공할 수 없을뿐더러 Hybrid automatic repeat

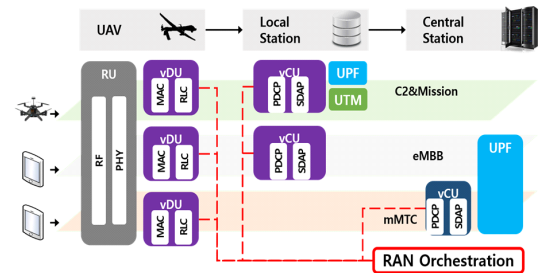


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

request (HARQ)에 소요되는 시간이 길어져 지연시간이 증가한다. 따라서 무인기에 RF와 PHY는 RU에 MAC과 RLC는 vDU에 배치한다. 또한 vCU는 VNF로 구현되어 있기 때문에 상용 서버가 있는 곳 어디든지 자유롭게 배치가 가능하다. 따라서 C2&mission 슬라이스와 같은 경우에는 vCU를 무인기와 가깝게 배치하여 지연 요구사항을 만족시킨다.

하지만 제안 구조는 슬라이스마다 MAC 기능이 분리되어 있어서 전체 무선 자원을 관리하지 못해 슬라이스 간에 자원 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 2계층 스케줄러의 RM과 같은 임무를 수행하는 RAN Orchestration 기능을 추가한다. 이 기능은 업데이트 주기, T^{orch} 마다 서비스 분포를 확인하여 서비스 분포가 높은 슬라이스에는 자원을 많이 할당하고, 반대인 경우에는 자원을 적게 할당한다. 이때 서비스 분포는 슬라이스 간 자원 할당의 우선순위를 결정하는 가중치이다.

3.3 프레임 구조

그림 2는 한 T^{orch} 동안의 프레임 구조를 나타낸 것이다. T^{frame} 은 프레임 주기이며, 그 값은 주기성 서비스 중 주기가 가장 긴 서비스의 주기와 같다²⁴⁾. 또한 슬라이스마다 숫자가 매겨진 블록은 PRB이며, 이는 자원 할당의 기본 단위이다. 따라서 PRB는 한 종류의 서비스만 할당할 수 있지만, 서비스는 여러 개의 PRB를 할당할 수 있다.

본 논문에서는 슬라이스 간 자원 독립을 위해 filtered orthogonal frequency division multiplexing (F-OFDM)을 적용한다. 따라서 슬라이스는 대역별로 분리되며, 서로 다른 형태의 PRB를 사용할 수 있다. PRB는 표 1과 같이 μ 에 따라 그 형태가 달라지는데, μ 는 PRB의 형태를 나타내는 numerology이다. 표 1에서 나머지 Δf_μ 는 μ 에 따른 SCS, N_{sc}^{PRB} 는 PRB 당

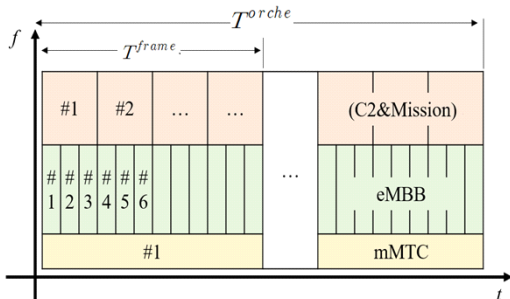


그림 2. 프레임 구조
Fig. 2. Frame structure

표 1. μ 에 따른 PRB 형태

Table 1. PRB form according to numerology μ

μ	Δf_μ	N_{sc}^{PRB}	t_μ^{PRB}
0	15 kHz	12	1 ms
1	30 kHz	12	0.5 ms
2	60 kHz	12	0.25 ms

subcarrier 수, t_μ^{PRB} 는 μ 에 따른 PRB의 길이를 나타낸다. 5G에서 μ 의 범위는 0부터 4까지가 제시되어 있지만, 본 논문에서는 frequency range (FR2)인 mmWave 대역을 고려하지 않기 때문에 μ 의 범위를 0에서 2만 고려한다¹³⁾. 또한 signalling 또는 reference signal (RS)과 같은 제어 정보들은 고려하지 않는다.

3.4 슬라이스 QoS

5G에서 PRB는 슬라이스의 QoS에 따라 그 형태가 결정된다. 따라서 슬라이스의 QoS에 따라 PRB를 선택할 수 있는 기준이 마련되어야 한다. 이를 정의하기에 앞서 C2&Mission 슬라이스, eMBB 슬라이스, mMTC 슬라이스를 1, 2, 3으로 설정하고 이들을 집합 S 에 포함한다고 정의한다. 이때, S 의 원소는 s 로 정의한다. 또한 서비스는 k 로 정의하며 슬라이스 s 의 서비스 집합 K_s 에 포함한다.

$s = 1$ 인 경우, 서비스들은 지연시간에 민감함과 동시에 주기성도 만족해야 한다. 앞서 프레임 주기는 주기성 서비스 중 주기가 가장 긴 서비스의 주기와 같고 정의하였으므로, 한 프레임 이내에 전송해야 할 서비스의 크기를 평균 지연시간동안 전송할 수 있는 PRB의 크기로 나누면 지연시간과 주기성을 만족하는 PRB의 개수를 구할 수 있다¹³⁾. 그러나 PRB의 개수가 $s=1$ 의 자원 영역의 개수를 초과하는 경우에는 다른 PRB를 선택해야 한다. 이는 (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$\left\lceil \frac{T^{frame} \times r_{s,k}^{serv}}{\delta_k \times r_\mu^{PRB}} \right\rceil \leq n_{s,\mu}^{PRB_{pool}}, \quad s = 1, k \in K_1, \mu \in \{0, 1, 2\}. \quad (2)$$

여기서 $\lceil x \rceil$ 는 올림 함수이며 x 보다 작지 않는 정숫값을 구한다. $r_{s,k}^{serv}$ 는 슬라이스 s 에서 사용하는 서비스 k 의 요구 데이터율이고, δ_k 는 서비스 k 의 평균 요구 지연시간이다. $n_{s,\mu}^{PRB_{pool}}$ 은 슬라이스 s 에서 μ 당

할당 할 수 있는 총 PRB의 개수이며, 이는 슬라이스 s 의 자원 영역이다. 이를 도출하는 방안은 다음 4장에서 언급한다. r_μ^{PRB} 는 μ 에 따른 PRB의 데이터율이며, 식 (3)과 같이 계산한다.

$$r_\mu^{PRB} = N_{sc}^{PRB} \times \Delta f_\mu \times \log_2(1 + \gamma_{th}). \quad (3)$$

γ_{th} 은 무인기와 사용자 간의 signal to noise ratio (SNR)로 본 논문에서는 사용자와 무인기가 전력 조절 등을 통해 특정 γ_{th} 을 달성한다고 가정한다.

$s = 2$ 인 경우, 대용량의 영상 정보를 보내야 하므로 광대역성이 요구된다. 특정 대역폭 B_s^{th} 을 만족하는 데이터율을 PRB의 데이터율로 나누어 영상 정보 전송에 필요한 PRB의 개수를 구할 수 있다. 다만 (2)와 마찬가지로 PRB의 개수가 $s = 2$ 의 자원 영역을 초과한다면, 다른 형태의 PRB를 선택해야 한다. 이는 (4)와 같이 정리한다.

$$\left\lceil \frac{B_s^{th} \times \log_2(1 + \gamma_{th})}{r_\mu^{PRB}} \right\rceil \leq n_{s,\mu}^{PRB_{pool}}, \quad (4)$$

$$s = 2, \mu \in \{0, 1, 2\}.$$

$s = 3$ 인 경우는 QoS를 따로 설정하지 않는다.

IV. 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘

제한하는 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘은 T^{orch} 마다 무인기의 제한적인 자원을 최대한으로 활용하는 것을 최대 목적으로 한다. 따라서 무인기의 수용능력과 슬라이스의 데이터율 합의 차이를 C^{gap} 이라고 할 때, (5)의 목적함수와 (6)-(11)의 제약조건을 가지는 최적화 모델로 정리할 수 있다.

$$\min C^{gap} = C^{uav} - \sum_{s \in S} r_s^{slice}, \quad (5)$$

$$\text{s.t. } C^{uav} \geq \sum_{s \in S} r_s^{slice}, \quad (6)$$

$$\left\lceil \frac{r_\mu^{PRB} \times r_{s,\mu}^{scrv}}{\delta_k r_\mu^{PRB}} \right\rceil \leq n_{s,\mu}^{PRB_{pool}}, \quad (7)$$

$$s = 1, k \in K_1, \mu \in \{0, 1, 2\},$$

$$\left\lceil \frac{B_s^{th} \times \log_2(1 + \gamma_{th})}{r_\mu^{PRB}} \right\rceil \leq n_{s,\mu}^{PRB_{pool}}, \quad (8)$$

$$s = 2, \mu \in \{0, 1, 2\},$$

$$(b_s^{\min}, b_s^{\max}) \cap (b_{s' \neq s}^{\min}, b_{s' \neq s}^{\max}) = \emptyset, \quad (9)$$

$$\forall s \in S, \forall s' \in S,$$

$$\Delta f_\mu = 2^\mu \times 15 \text{kHz}, \forall \mu \in \{0, 1, 2\}, \quad (10)$$

$$t_\mu^{PRB} = 1 \text{ms} / 2^\mu, \forall \mu \in \{0, 1, 2\}. \quad (11)$$

(5)에서 r_s^{slice} 는 슬라이스 s 의 데이터율이고, C^{uav} 는 무인기의 수용능력을 의미하며, (12)와 같이 계산할 수 있다.

$$C^{uav} = B^{uav} \times \log_2(1 + \gamma_{th}). \quad (12)$$

B^{uav} 는 무인기의 총 대역폭을 의미한다.

(6)은 무인기의 수용능력이 슬라이스들의 데이터율 합보다 높아야 한다는 조건이다. (7)과 (8)은 각각 $s = 1$ 인 경우와 $s = 2$ 인 경우의 QoS에 대한 제약조건이다. (9)는 슬라이스의 자원 독립을 위한 제약조건으로, 프레임 구조에서 언급한 것과 같이 슬라이스는 대역으로 구분되며 슬라이스 간 자원은 서로 공유되

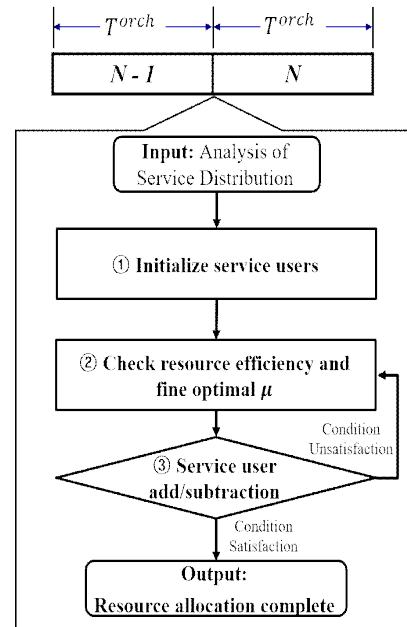


그림 3. 알고리즘 순서도
Fig. 3. Algorithm flow chart

지 않는다. 여기서 b_s^{\min} 과 b_s^{\max} 는 슬라이스 s 의 대역 최저값과 최고값을 의미한다. (10)과 (11)은 μ 에 따른 PRB의 SCS와 길이에 대한 조건이다.

목적함수를 달성하기 위한 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘의 동작은 한 T^{orch} 에서 다음 T^{orch} 로 넘어가는 지점에서 ‘서비스 분포 분석’, ‘사용자 수 초기설정’, ‘자원 효율성과 μ_s^* 선정’, ‘사용자 가감’ 단계를 거친다. 이후 사용자 수의 변화가 없다면 자원 할당을 완료한다. 그러나 ‘사용자 가감 단계’에서 사용자 수가 늘어난 경우나 줄어든 경우에는 다시 ‘자원 효율성과 μ_s^* 선정’ 단계로 돌아가 조건을 만족할 때까지 알고리즘을 수행한다. 그림 3은 위 과정을 그림으로 도식화 한 것이며, 다음 절은 각 단계에서 수행되는 과정을 자세히 나타낸 것이다.

4.1 서비스 분포 분석

‘서비스 분포 분석’ 단계는 슬라이스들의 자원 할당 우선순위 결정하기 위한 가중치를 구하는 과정이다. 서비스 분포를 구하기 위해서는 r_s^{slice} 를 구해야 한다. 만약 슬라이스 s 의 사용자들이 모두 동일한 서비스를 활용한다고 가정한다면 r_s^{slice} 는 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$r_s^{slice} = I_s \times \sum_{k \in K_s} r_{s,k}^{serv}, \quad (13)$$

여기서 I_s 는 슬라이스 s 의 사용자 수를 나타낸다.

이후 슬라이스 s 의 서비스 분포 w_s 는 (14)와 같이 전체 슬라이스 데이터율 대비 슬라이스 s 의 데이터율로 구한다.

$$w_s = \frac{r_s^{slice}}{\sum_{s \in S} r_s^{slice}}, \quad (14)$$

4.2 사용자 수 초기 설정

‘사용자 수 초기 설정’ 단계는 자원 할당 알고리즘을 수행하기 전 사용자의 수를 조정하는 단계이다. 만약 C^{gap} 이 양수라면 해당 과정을 거치지 않아도 되지만, C^{gap} 이 음수인 경우에는 알고리즘의 반복 횟수가 많아져 자원 할당 결과를 반환하는 속도가 늦어진다. 따라서 알고리즘의 속도를 높이기 위해 슬라이스 s 의 기대 사용자 수 I_s^{prop} 을 구한다. 이는 (15)와 같이 무인기의 수용능력에 서비스 분포를 곱한 뒤, 슬라이스

s 의 서비스 k 의 요구 데이터율로 나누어 계산한다.

$$I_s^{prop} = \begin{cases} \left[\frac{C^{max} \times w_s}{\sum_{k \in K_s} r_{s,k}^{serv}} \right], & w_s = \max(W) \\ \left[\frac{C^{max} \times w_s}{\sum_{k \in K_s} r_{s,k}^{serv}} \right], & w_s \neq \max(W) \end{cases} \quad (15)$$

W 는 모든 슬라이스의 서비스 분포를 나타내는 배열이며, $|S| \times 1$ 의 크기를 가진다.

I_s^{prop} 는 정수형이 되어야 하므로 올림 함수 또는 내림 함수를 적용하여 계산한다. 만약 w_s 가 최댓값이라면 올림 함수를 적용하고 나머지는 내림 함수를 적용한다. 올림 함수를 적용하는 이유는 서비스 분포가 가장 높음에도 불구하고, 서비스의 요구 데이터율이 높아 사용자 수가 0명이 나오는 경우를 방지하기 위해서이다. 하지만 I_s^{prop} 는 확정값이 아니기 때문에 슬라이스 s 의 초기 사용자 수 I_s 를 기억하고 있어야 한다.

4.3 자원 효율성과 μ_s^* 선정

‘자원 효율성’ 단계는 자원 영역 대비 실제로 할당되는 PRB의 수를 계산하는 단계이다. 이를 위해 먼저 슬라이스 s 당 실제로 할당되는 PRB의 수 $n_{s,\mu}^{PBR_{real}}$ 을 (16)과 같이 구한다.

$$n_{s,\mu}^{PBR_{real}} = \begin{cases} I'_s \times \sum_{k \in K_s} \left[\frac{T^{frame} \times r_{s,k}^{serv}}{\delta_k r_{\mu}^{PRB}} \right], & s = 1 \\ I'_s \times \sum_{k \in K_s} \left[\frac{B_{\mu}^{th} \times \log_2(1 + \gamma_{th})}{r_{\mu}^{PRB}} \right], & s = 2 \\ I'_s \times \sum_{k \in K_s} \left[\frac{r_{s,k}^{serv}}{r_{\mu}^{PRB}} \right], & s = 3, \end{cases} \quad (16)$$

I'_s 는 알고리즘 과정에서 변화하는 사용자 수를 의미하며, ‘사용자 수 초기 설정’ 단계를 거친 경우에는 I_s^{prop} 를 의미하고, 그렇지 않은 경우에는 I_s 를 의미한다. 또한 제약조건 (7)과 (8)을 만족해야 함으로 경우를 나누어 계산한다.

다음, 각 슬라이스 s 당 μ 별 자원 영역의 PRB 개수 $n_{s,\mu}^{PBR_{pool}}$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$n_{s,\mu}^{PBR_{pool}} = \begin{cases} \left\lceil \frac{n_{s,\mu}^{PBR_{real}}}{T^{frame}/t_{\mu}^{PBR}} \right\rceil \times \frac{T^{frame}}{t_{\mu}^{PBR}}, & s = 1 \\ \left\lceil \frac{n_{s,\mu}^{PBR_{real}}}{T^{orch}/t_{\mu}^{PBR}} \right\rceil \times \frac{T^{orch}}{t_{\mu}^{PBR}}, & s \neq 1 \end{cases}, \quad (17)$$

(17)에서 자원 영역은 결국 특정 주기 내에 할당할 수 있는 PRB의 개수를 의미한다. 그러나 $s = 1$ 인 경우에는 T^{frame} 의 주기성을 가지고 있기 때문에 프레임 단위로 계산하지만 나머지는 주기성이 없기 때문에 서비스 분포가 변화하는 T^{orch} 단위로 계산한다.

따라서 슬라이스 s 의 μ 당 자원 효율성 $\psi_{s,\mu}$ 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\psi_{s,\mu} = \frac{n_{s,\mu}^{PBR_{real}}}{n_{s,\mu}^{PBR_{pool}}}. \quad (18)$$

‘ μ_s^* 선정’ 단계에서는 μ 에 따른 PRB로 계산한 자원 효율성들 중 가장 자원 효율성이 높은 μ 를 선정하는 것으로 (19)와 같이 구할 수 있다.

$$\mu_s^* = \max(\Phi_s), \forall s = \{1, 2, 3\}. \quad (19)$$

$\max(\Phi_s)$ 는 배열 값 중 가장 높은 값에 대한 인자 번호를 찾는 함수이다. Φ_s 는 Φ 의 부분 배열로 특정 슬라이스 s 에 대한 μ 별 자원 효율성이 저장된 배열이다. 만약 자원 효율성이 최대인 값에 해당하는 μ 가 하나 이상인 경우에는 그들 중 가장 낮은 것을 선택한다.

기존의 연구들과는 달리 자원 효율성을 고려하는 이유는 다음과 같다. 한 슬라이스에 운영되는 서비스가 3개이고 각각 3, 9, 6 Mbps의 요구 데이터율을 가지는 시스템이 있다고 한다. 만약 PRB가 2종류로 6MHz, 3MHz의 대역과 1초, 2초의 길이를 가질 때 종류에 관계없이 PRB 하나의 데이터율은 6 Mbps로 설정할 수 있고 각 서비스마다 0.5, 1.5개, 1개의 PRB를 할당할 수 있다. 그러나 PRB는 자원 할당의 기본 단위이며, 정수개로 표현되어야 함으로 1개, 2개, 1개로 변환된다. 만약 한 프레임의 주기가 3초라고 한다면 첫 번째 PRB 경우에는 한 프레임에 3개의 PRB를 할당할 수 있기 때문에 총 2개의 프레임을 사용해야 하며 그 효율성이 $4/(2*3) = 0.8$ 이 된다. 두 번째 PRB 경우에는 한 프레임에 1.5개의 PRB를 할당할 수 있지

만 PRB는 자원 할당 기본 단위임으로 1개의 PRB만 할당된다. 이 경우 총 6개의 프레임이 필요하며 그 효율성은 $4/(6*1+0.5*6) = 0.4$ 로 표현된다. 따라서 첫 번째 PRB가 자원 효율성 면에서 더 좋다는 것을 알 수 있다.

4.4 사용자 가감

‘사용자 가감’ 단계는 목적함수를 달성하기 위해 사용자의 수를 줄이거나 늘리는 단계이다. 이를 위해서는 다시 C^{gap} 을 판단하여야 한다. 그러나 앞선 ‘사용자 수 초기 설정’ 단계와는 달리 PRB 단위로 자원 할당이 수행되었으므로 r_s^{slice} 는 (20)과 같이 계산한다.

$$r_s^{slice} = \begin{cases} n_{s,\mu_s}^{PBR_{real}} \times r_{\mu_s}^{PBR} \times \frac{T^{orch}}{T^{frame}}, & s = 1 \\ n_{s,\mu_s}^{PBR_{real}} \times r_{\mu_s}^{PBR} & , s \neq 1 \end{cases} \quad (20)$$

$s = 1$ 인 경우에는 주기성으로 인해 $n_{s,\mu}^{PBR_{real}}$ 개수가 T^{frame} 단위에 맞춰져 있다. 따라서 T^{orch} 에 맞추기 위한 보상과정이 수행되어야 한다.

이 후에는 알고리즘 1과 같이 서비스 분포와 사용자 수를 고려하여 사용자를 늘리거나 줄인다. 만약 C_{gap} 이 음수인 경우(line 2), 서비스 배열에서 동일한 배열 요소 값이 있는 지를 확인한다. 이때 line 3의 $same(W)$ 는 W 의 요소들 중 동일한 값이 몇 개가 있는지를 반환하는 함수이다. 본 논문에서는 W 의 크기가 슬라이스의 개수와 같으므로, 모두 동일한 경우에는 2, 두 개가 동일한 경우 1을 반환하며 그렇지 않다면 0을 반환한다. 또한 사용자의 수도 고려해야 하는데 하는데 $nnz(I')$ 는 0이 아닌 I' 의 요소의 개수를 반환하는 것이고 I' 은 슬라이스 별 사용자 배열이다. 따라서 최소 0부터 3까지 반환할 수 있다.

알고리즘 1. 사용자 가감 단계
Algorithm 1. User add/subtraction step

```

1: #. Case 1. user_subtraction
2: if  $C^{gap} < 0$ 
3:   if  $same(W) = 2$  &  $nnz(I') = 3$ 
4:      $s = \min(W)$ ;
5:      $I'_s = I'_s - 1$ ;
6:   elif  $same(W) = 1$ 
7:     for  $s = 1 : 3$ 
8:       if  $s = \max(W)$  &  $nnz(I') = 1$ 
9:          $I'_s = I'_s - 1$ ;
10:      elif  $s = \min(W)$  &  $nnz(I') = 3$ 

```



```

11:    $I'_s = I'_s - 1;$ 
12:   else
13:     stop += 1
14:   endif
15: elif same(W) = 0
16:   for s = 1 : 3
17:     if  $s = \text{minin}(W) \ \& \ 0 < I'_s \leq I_s$ 
18:        $I'_s = I'_s - 1;$ 
19:       elif  $s \neq \text{minin}(W) \ \& \ s \neq \text{maxin}(W) \ \& \ 0 < I'_s \leq I_s$ 
20:         if  $\text{nnz}(I') = 2$ 
21:            $I'_s = I'_s - 1;$ 
22:         else
23:           stop += 1
24:         endif
25:       elif  $s = \text{maxin}(W) \ \& \ 0 < I'_s \leq I_s$ 
26:          $I'_s = I'_s - 1;$ 
27:       else
28:         stop += 1
29:       endif
30:     endfor
31:   else
32:     stop += 1
33:   endif
34: #. Case 1. user_add
35: else
36:   if  $I'_s = I_s \ \parallel \ \text{stop} > 10000$ 
37:     break;
38:   else
39:     for 1 : 3
40:       if  $C^{gap} \geq \frac{r_s^{slice}}{I'_s} \ \& \ 0 \leq I'_s < I_s$ 
41:          $I'_s = I'_s + 1$ 
42:       else
43:         stop += 1
44:       endif
45:     endfor
46:   endif
47: end if

```

만약 사용자 배열이 모두 값이 모두 동일하고, 그 사용자 수가 0명이 아닌 경우에는(line 3) 서비스 분포가 서로 동일함으로 랜덤한 요소를 뽑아 그에 해당하는 사용자 수를 줄인다(line 4-5). 이 때 $\text{minin}(W)$ 는 W 요소의 인자를 랜덤하게 선택하는 함수이다. 만약 서비스 배열 중 동일한 값이 존재할 때(line 6), 현재 슬라이스 s 의 서비스 분포가 최대이고, 나머지 사용자 수가 전부 0인 경우에는 최대 서비스 분포의 값을

줄인다(line 8-9). 또한 현재 슬라이스 s 의 값의 서비스 분포가 최소이고, 사용자 수가 0명인 경우가 없다면 자기 자신의 사용자 수를 줄인다(line 10-11). 이때 $\text{minin}(W)$ 은 W 요소 중 최소값의 인자를 반환하는 함수이다. 만약 서비스 분포가 모두 다른 경우에는 서비스 분포가 가장 낮은 값부터 줄인다(line 17-18) 또한 본 알고리즘은 서비스 분포가 가장 낮은 슬라이스 s 의 사용자 수가 0명이 되어야지만 그 다음으로 낮은 사용 중 그 다음 값을 줄인다(line 19-26). 이 외 예외 처리가 되지 않아 알고리즘이 무한 루프를 돌게 되는 경우를 대비하여 stop 함수를 추가한다(line 13, 23, 28, 32). stop 함수는 알고리즘 종료를 위한 정지 조건 함수 중 하나로 C^{gap} 이 음수인 경우에는 값만 증가시킨다.

만약 C^{gap} 이 0보다 크거나 같은 경우에는 이전과는 달리 정지 조건들에 의해 알고리즘이 종료되어야 한다. 따라서 만약 알고리즘 수행 후 사용자 수와 I'_s 알고리즘 수행 전 사용자 수 I_s 가 같은 경우에는 사용자 수가 변화하지 않음으로 알고리즘을 종료한다. 또한 stop 함수가 특정 값을 넘은 경우에도 알고리즘을 정지한다(line 35-38). 이외에는 사용자 감쇄과정과는 달리, C^{gap} 과 각 슬라이스 당 한 명이 사용할 수 있는 PRB의 데이터율 보다 높은지의 여부를 판단하여 해당 하는 모든 슬라이스의 사용자 수를 추가한다. 단 여기서도 제약조건 (6)을 만족해야 한다(line 40-41). 또한 마찬가지로 무한루프 방지를 위한 예외처리도 수행한다(line 43).

V. 성능 분석

제안하는 슬라이스 간 자원 할당 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 무인기는 총 1대로 설정하였으며, 슬라이스의 개수는 총 3개로 설정하였다. 또한 eMBB의 대역 조건은 5MHz 이상으로 고려하였고 이에 따라 요구 데이터율을 30 Mbps로 설정한다. 나머지 파라미터들에 대해서는 표 2와 같다^{3,4)}.

먼저 제안하는 시스템 모델 및 제약조건에 대한 검증을 위해 자원 할당 결과 및 자원 할당 전후에 따른 사용자 수의 변화를 확인한다. 표 3은 알고리즘 전후의 슬라이스 사용자 수의 변화를 나타낸 것이다. 제안한 시스템 환경에서 드론은 일정 숫자가 주기적으로 활성화 되는 것으로 설정하였기 때문에 알고리즘 전 $s = 1$ 에서는 매 시간마다 20대가 계속하여 활성화

표 2. 성능분석 환경
Table 2. Performance analysis environment

I_s	$I_1, I_2, I_3 = 20, 100, 400$				
B^{uav}	80 MHz				
γ_{th}	10 dB				
α, β	3, 4				
T_{orch}	400 ms				
T_{frame}	40 ms				
$s = 1$	Tc	required data rate [kbps]	4.8	δ_k	10ms
	Tm		4.8		10ms
	video1		512		40ms
$s = 2$	video2	30,000	B_{th}	5 MHz	
$s = 3$	sensor	6,000		-	

표 3. 슬라이스 s 의 사용자 수 변화
Table 3. Change in number of users in slice s

update time(s)	Before algorithm			After algorithm		
	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$
0	20	0	0	19	0	0
0.4	20	1	2	17	0	2
0.8	20	2	7	6	1	7
1.2	20	4	11	4	1	9
1.6	20	5	17	0	2	8
2	20	6	22	0	2	8
2.4	20	7	26	0	2	8
2.8	20	7	29	0	2	8
3.2	20	8	31	0	2	8
3.6	20	8	32	0	3	3
4	20	7	32	0	3	3
4.4	20	7	31	0	2	8
4.8	20	6	29	0	2	8

update time(s)	Before algorithm			After algorithm		
	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$
5.2	20	5	27	0	2	8
5.6	20	5	23	0	2	8
6	20	4	20	1	2	7
6.4	20	3	16	1	2	7
6.8	20	2	12	1	2	7
7.2	20	1	9	0	2	8
7.6	20	0	6	7	1	6
8	20	0	3	16	0	3
8.4	20	0	1	19	0	0
8.8	20	0	0	19	0	0
9.2	20	0	0	19	0	0
9.6	20	0	0	19	0	0

되는 것으로 설정하였기 때문에 알고리즘 전 $s = 1$ 에서는 매 시간마다 20대가 계속하여 활성화가 된다.

하지만 나머지 $s \in \{2, 3\}$ 에서의 지상 IoT 들은 사용자 활성화 모델로 인해 업데이트 시간에 따라 사용자 수가 달라지는 것을 확인할 수 있다. 또한 사용자 수가 알고리즘 이전보다 알고리즘 이후에 더 증가하거나, 음수가 되는 경우는 없는 것을 확인할 수 있다. 게다가 제안하는 알고리즘은 서비스 분포에 따라 사용자 수를 가감하기 때문에 서비스 분포가 높은 순서대로 자원 할당을 수행한다. 따라서 초기 0초와 8.4초 이후에는 $s = 1$ 의 서비스 비율이 높기 때문에 $s = 1$ 이 자원을 모두 사용하지만, 데이터율이 $s = 1$ 에 비해 데이터율이 상대적으로 높은 $s \in \{2, 3\}$ 의 사용자가 발생하는 0.4초에서 8초까지는 $s = 1$ 이 자원을 할당받지 못하는 것을 확인할 수 있다. 또한 $s = 2$ 의 사용자 수가 점점 많아짐에 따라 $s = 3$ 역시도 그 자원을 할당받지 못한다.

그림 4는 자원 할당 알고리즘에 따른 슬라이스 간

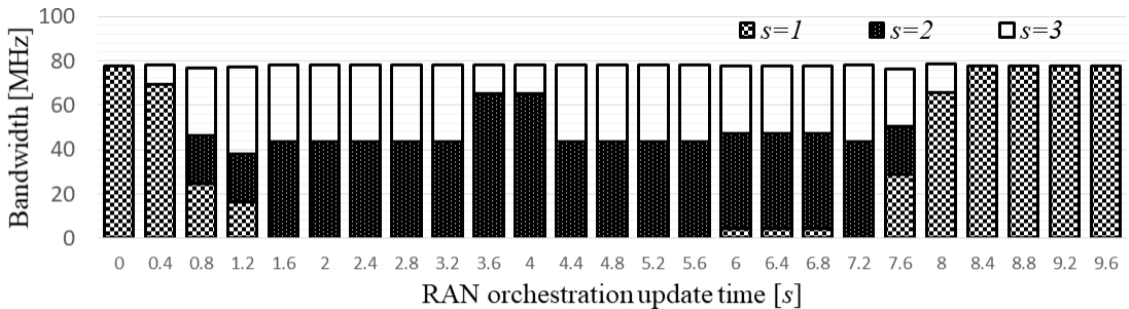


그림 4. RAN orchestration 갱신 주기에 따른 자원 할당 결과
Fig. 4. Result of resource allocation per RAN orchestration update period

자원 할당 결과를 나타낸 것이다. 표 3을 참고하여 볼 때, 먼저 0초와 8.4초 이후에서는 $s = 1$ 이외에는 자원을 할당받지 못하였지만 나머지 부분에서는 $s \in \{2, 3\}$ 의 사용자가 자원을 많이 할당 받을 것을 확인할 수 있다. 또한 $s = 2$ 의 경우에는 B_{th} 를 5 MHz 이상으로 설정하였는데, 0.8초 구간에서 사용자 한명 당 10 MHz 이상을 할당 받은 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 알고리즘은 목적함수와 제약조건을 모두 만족한다고 할 수 있다.

그림 5는 제안한 알고리즘과 μ 를 고정 한 경우에 대해 자원 효율성의 평균값을 비교한 그래프이다. 평균값은 모든 슬라이스에서 자원을 할당받은 0.8초와 1.2초 때의 자원 효율성 값의 평균값을 구한 것이다. 해당 시스템 환경에서는 $\mu = 0$ 인 경우에 가장 자원 효율성이 좋기 때문에 제안한 알고리즘도 그 값을 계속 선택한 것을 확인할 수 있다. 하지만, 만약 $\mu = \{1, 2\}$ 인 경우에는 자원 효율성이 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 QoS를 만족하는 PRB의 종류에 대해서는 그 자원 효율성을 비교해 자원을 최대한으로 활용해야 한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 각 슬라이스의 QoS 만족함과 동시에 무인기의 제한적인 자원을 최대한으로 활용할 수 있는 슬라이스 간 동적 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 무인기가 RAN 슬라이싱을 수행할 수 있는 RAN 슬라이싱 구조를 설계하였으며, 사용자 활성화 모델을 통해 실시간으로 변화하는 서비스 환경을 고려하였다. 또한 프레임 구조와 함께 슬라이스 QoS를 모델링함으로써, 슬라이스의 자원 독립성을 만족시킴과 동시에 슬라이스마다 고유의 특성을 가질 수 있도록 하였다. 이후 최적화 모델과 함께 ‘서비스 분포 분석’, ‘사용자 수 초기설정’, ‘자원 효율성과 μ_s *선정’, ‘사용자 가감’ 단계 거치는 슬라이스 간 동

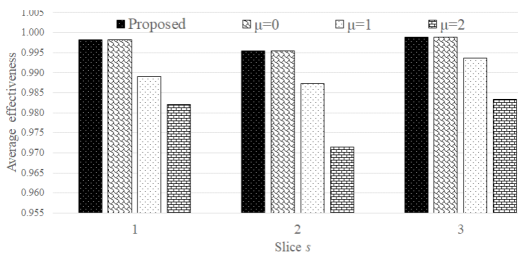


그림 5. μ 에 따른 평균 자원 효율성
Fig. 5. Average resource efficiency

적 할당 알고리즘을 통해 자원 할당을 수행하였다.

하지만 본 논문에서는 슬라이스 내에 대한 자원 할당에 대해서는 고려하지 않았고, 자원 할당 문제가 NP-hard한 문제이기 때문에 제안한 알고리즘이 최적의 경우를 찾은 것이라고는 할 수 없다. 따라서 향후 강화 학습 등을 고려하여 무인기를 위한 RAN 슬라이싱 자원 할당 최적화 알고리즘을 제안할 예정이다.

References

- [1] 3GPP Technical specification group radio access network; Solutions for NR to support non-terrestrial network (NTN), document TR 38.821, V16.0.0, 3GPP, Dec. 2019.
- [2] 3GPP Technical specification group radio access network; Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks, document TR 38.811 V15.2.0, 3GPP, Sep. 2019.
- [3] 3GPP Technical specification group services and system aspects; Unmanned Aerial System (UAS) support in 3GPP, document TS 22.125, V17.1.0, 3GPP, Dec. 2019.
- [4] 3GPP Technical specification group services and system aspects; Enhancement for unmanned aerial vehicles, document TR 22.829, V17.1.0, 3GPP, Sep. 2019.
- [5] A. E. Garcia, S. Hofmann, C. Sousa, L. Garcia, A. Baltaci, C. Bach, R. Wellens, D. Gera, D. Scheupke, and H. E. Gonzalez, "Performance evaluation of network slicing for aerial vehicle communication," in Proc. ICC 2019 Wkshps, Shanghai, China, May 2019.
- [6] S. I. Lee, J. H. LEE, and M. K. Shin, "Standardization trends in network slicing and management technologies of 5G core network," Electron. and Telecommun. Trend, vol. 70, no. 2, pp. 63-70, Apr. 2017.
- [7] M. Kalil, M. Youssef, A. Shami, A. Al-Dweik, and S. Ali, "Wireless resource virtualization: Opportunities, challenges, and solutions," Wireless Commun. and Mob. Comput., vol. 16, no. 16, pp. 2690-2699, Nov. 2016.
- [8] I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini, and H. Flinck, "Network slicing &

- softwarization: A survey on principles enabling technologies & solutions,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 20, no. 3, pp. 2429-2453, Mar. 2018.
- [9] S. E. Elayoubi, S. B. Jemaa, Z. Altman, and A. G. Serrano, “5G RAN slicing for verticals: Enablers and challenges,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 1, pp. 28-34, Jan. 2019.
- [10] KDDI Research, Inc., “Slicing technology developments for virtualized 5G base station,” Retrieved Feb. 3, 2020, from <https://www.kddiresearch.jp/english/newsrelease/2018/052101.html>
- [11] H. Hirayama, Y. Tsukamoto, S. Nanba, and K. Nishimura, “RAN slicing in multi-CU/DU architecture for 5G services,” in *Proc. IEEE VTC2019-Fall*, pp. 1-5, Honolulu, HI, USA, Sep. 2019.
- [12] A. Ksentini and N. Nikaiein, “Toward enforcing network slicing on RAN: Flexibility and resources abstraction,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 6, pp. 102-108, Jun. 2017.
- [13] D. Marabissi and R. Fantacci, “Highly flexible RAN slicing approach to manage isolation, priority, efficiency,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 97130-97142, Aug. 2019.
- [14] *3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Channels and Modulation*, document TS 38.211 V16.2.0, 3GPP, Jun. 2020.
- [15] L. M. P. Larsen, A. Checko, and H. L. Christiansen, “A survey of the functional splits proposed for 5G mobile crosshaul networks,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 21, no. 1, pp. 146-172, First Quarter, 2019.
- [16] *3GPP Technical specification group radio access network; study on new radio access technology, radio access architecture and interfaces*, document TR 38.801, v.2.0.0, 3GPP, Apr. 2017.
- [17] Huber+Suhner, “5G fundamental: Functional split overview,” Retrieved Jul. 1, 2020, from <https://www.hubersuhner.com/en/documents-repository/technologies/pdf/fiber-optics-document/s/5g-fundamentals-functional-split-overview>.
- [18] ETSI, “*NFV; Architecture Framework*,” GS NFV 002 v1.2.1, Dec. 2014.
- [19] ETSI, “*NFV; Virtual Network Functions Architecture*,” GS NFV-SWA001 v1.1.1, Dec. 2014.
- [20] Y. J. Bahg and J. H. NA, “Technology review on small cell virtualization,” *Electron. and Telecommun. Trend*, vol. 31, no. 5, pp. 90-98, Oct. 2016.
- [21] *3GPP Technical specification group radio access network; Study on RAN Improvements for Machine-type Communications*, document TR 37.868, V11.0.0, 3GPP, Sep. 2011.
- [22] Federal Aviation Administration, “*Unmanned aircraft system (UAS) Traffic Management (UTM) Concept of operations*,” v.1.0, FAA, Washington, DC, USA, May 2018.
- [23] *3GPP Technical specification group services and system aspects; Study on application layer support for unmanned aerial systems (UAS)*, document TR 23.755, V0.5.0, 3GPP, Dec. 2019.
- [24] J. W. Cho and J. Kim, “Multi-UAV positioning selecting scheme for minimizing power consumption using non-hierarchical cluster method,” *J. KICS*, vol. 43, no. 8, pp. 1263-1269, Aug. 2018.

조 준 우 (Jun-Woo Cho)



2008~2015년 : 아주대학교 전자
공학과 공학사
2015년~현재 : 아주대학교 AI융
합네트워크학과 석박사통합
과정
<관심분야> 5G, UAV, 위성통
신, 전술 데이터링크, 국방 전
술네트워크 등

[ORCID:0000-0001-9331-3687]

박 형 원 (Hyung-Won Park)



1999년~2003년 : 아주대학교 정
보 및 컴퓨터공학과 공학사
2003년~2005년 : 아주대학교 정
보 통신공학과 공학석사
2005년~2009년 : 아주대학교 정
보 통신공학과 공학박사
2009년 9월~현재 : LIG넥스원
C4I연구소 수석연구원

<관심분야> 전술데이터링크, 군 위성통신, 이동통신
[ORCID:0000-0002-5139-6450]

이 충 희 (Choong-Hee Lee)



1999년~2006년 : 아주대학교 전
자공학과 공학사
2006년~2008년 : 아주대학교 전
자공학과 공학석사
2008년~2015년 : 아주대학교 전
자공학과 공학박사
2015년~현재 : LIG넥스원 C4I
연구소 수석연구원

<관심분야> 전술통신, 이동통신, QoS, QoE
[ORCID:0000-0002-7808-8554]

김 재 현 (Jae-Hyum Kim)



1987년~1996년 : 한양대학교 전
산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 : 미국 UCLA
전기전자과 박사 후 연수
1998년~2003년 : Bell Labs, NJ,
USA, 연구원
2003년~현재 : 아주대학교 전자
공학부 교수

<관심분야> QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜,
IEEE 802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 전술네트
워크, 위성시스템 등
[ORCID:0000-0003-4716-6916]