

## 5G 코어 네트워크에서 Credit Value를 이용한 자원 할당 방안

박상면<sup>1</sup> · 문영성<sup>2\*</sup>

### Resource Allocation Method using Credit Value in 5G Core Networks

Sang-Myeon Park<sup>1</sup> · Young-Song Mun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D Student, Department of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul, 06978 Korea

<sup>2\*</sup>Professor, Department of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul, 06978 Korea

#### 요 약

최근 데이터 트래픽은 다양한 산업 발전으로 인해 폭발적으로 증가하여 기존 네트워크의 효율성 감소, 과부하 등의 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 가상화 기법을 이용하며 다양한 서비스에 최적화된 네트워크를 제공하는 네트워크 슬라이싱이 주목받고 있다. 본 논문에서는 credit value를 이용하여 자원할당을 하는 방안에 대해 제안한다. 기존 클러스터링 기법을 이용한 방안에서는 다양한 서비스에 대한 할당 요청이 들어올 때마다 클러스터 선정하기 위한 연산이 수행된다. 반면에 제안 방안에서는 클러스터의 잔여 사용량과 balancing을 이용하여 credit value를 설정하여 클러스터 선정에 필요한 연산을 수행하지 않고 slice request를 처리할 수 있도록 하였다. 제안 방안을 검증하기 위해 processing time과 balancing simulation을 진행하였다. 그 결과, 제안된 방안의 processing time 및 오차율은 clustering 기법만 사용한 방안보다 각각 약 13.72%, 약 7.96% 감소하였다.

#### ABSTRACT

Recently, data traffic has exploded due to development of various industries, which causes problems about losing of efficiency and overloaded existing networks. To solve these problems, network slicing, which uses a virtualization technology and provides a network optimized for various services, has received a lot of attention. In this paper, we propose a resource allocation method using credit value. In the method using the clustering technology, an operation for selecting a cluster is performed whenever an allocation request for various services occurs. On the other hand, in the proposed method, the credit value is set by using the residual capacity and balancing so that the slice request can be processed without performing the operation required for cluster selection. To prove proposed method, we perform processing time and balancing simulation. As a result, the processing time and the error factor of the proposed method are reduced by about 13.72% and about 7.96% compared with the clustering method.

**키워드** : 5G 코어 네트워크, 네트워크 슬라이싱, 자원 할당, Credit value

**Keywords** : 5G Core Networks, Network slicing, Resource Allocation, Credit value

Received 18 February 2020, Revised 22 February 2020, Accepted 28 February 2020

\* Corresponding Author Young-Song Mun(E-mail:mun@ssu.ac.kr, Tel:+82-2-812-0689)

Professor, Department of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul, 06978, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.4.515>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

4차 산업혁명의 핵심기술인 Internet of Things(IoT)의 등장으로 다양한 센서에서 발생하는 트래픽과 모바일 기반의 고화질, 고음질 멀티미디어 서비스가 보편화로 인해 모바일 트래픽은 기하급수적으로 증가하고 있는 추세이다[1]. 또한 2018년 12월 기준으로 모바일 트래픽은 전년대비 18%가 증가하였고 모바일 트래픽의 상위 3개 유형인 동영상, 웹포털, SNS에서 발생하는 트래픽은 87%에 이른다[2]. 이처럼 급증한 트래픽은 기존 네트워크의 효율성 저하 및 과부하 등의 문제를 야기하고 있어 이를 해결하기 위해 5G networks가 주목받고 있다. 5G networks는 다양한 devices에서 발생하는 폭발적인 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있을 것으로 기대된다[3]. 또한 5G networks에서는 software defined networks(SDN)과 network function virtualization(NFV)를 이용할 수 있기 때문에 physical network function을 구축하는 대신 virtual network function(VNF)을 사용할 수 있고 network slicing 기술을 활용하여 하나의 physical server에 다양한 network functions(NF)을 적용하는 등 다양한 연구가 진행 중이다[4-8]. D. Dietrich et al.과 D. Sattar et al.의 연구에서는 Mixed Integer Linear Programming(MILP)를 이용하여 각각 LTE network와 5G core network에 적용할 수 있는 network slicing을 하는 방안을 제안하였다[9-10]. 또한 Park et al.의 연구에서는 5G core networks 환경에 clustering 기법을 적용하여 processing time을 줄이는 방안을 제안하였다[11].

기존 clustering 기법을 적용한 연구에서는 slice request가 발생할 때마다 VNF의 종류에 따라 cluster 상태값을 계산하고 가장 작은 상태값을 가지는 cluster를 선택한 후 MILP를 이용하여 VNF를 할당한다. 하지만 cluster 상태값 계산은 요청된 VNF가 이전 할당된 VNF와 다를 경우 발생한다. 예를 들어, 이전 VNF와 같은 slice request가 발생하면 이전에 할당된 cluster에 대한 상태값만 계산하면 되지만 다른 slice request가 발생하면 모든 cluster에 대해 상태값 계산이 이루어져야 한다. 따라서 이전 VNF와 다른 VNF를 할당해야 할 경우가 많거나 할당할 수 있는 VNF의 종류가 많은 경우는 모든 cluster 상태값이 계산될 확률은 증가한다. 또한 cluster의 상태값은 0에서 1사이의 값으로 표현되므로 cluster를 구성하는 server의 수가 많을수록 VNF 할당 전후의

cluster 상태값 차이는 미미하기 때문에 slice request가 발생할 때마다 계산하는 것은 효율적이지 않다.

따라서 본 논문에서는 credit value를 이용하여 효율적인 자원 할당 방안을 제안한다. Slice request가 발생할 때 마다 cluster 상태값을 계산하는 기존 방안과 달리 balancing 비율을 초과하지 않으면서 cluster의 잔여 사용량에 따라 cluster에서 처리할 수 있는 slice request의 수인 credit value를 설정한다. Credit value를 이용하여 cluster를 선택한 후, 간편화 된 MILP objective function을 이용하여 VNF를 할당하기 적합한 server를 선정한다. 이처럼 credit value와 간편화 된 objective function은 slice request를 빠르게 처리할 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 credit value를 적용하는 방안에 대해 제안한다. 3장에서는 제안 방안의 효율성을 검증하기 위해 5G core networks 환경에서 기존 방안들과 processing time, balancing을 비교분석하였다. 마지막으로 4장에서는 결론으로 구성된다.

## II. 제안 방안

본 논문에서는 기존 연구와는 달리 slice request가 발생할 때마다 cluster 상태값을 계산하는 것이 아닌 VNF의 컴퓨팅 요구량과 설정한 cluster balancing 비율에 따른 credit value를 설정하여 적합한 cluster를 빠르게 선택할 수 있는 방안을 제안한다.

### 2.1. Cluster 선정

본 논문에서의 cluster 구성 다음과 같은 조건을 만족한다[11].

- i) Cluster leader와 members는 모두 연결되어 있다.
- ii) Cluster leader와 members의 hop 수는 2-hop이다.
- iii) Cluster를 구성하는 members의 성능은 동일하다.

Credit value는 VNF의 컴퓨팅 요구량과 cluster balancing 비율로 계산한다. 먼저 VNF의 컴퓨팅 요구량은 server에 할당하기 위해 필요한 컴퓨팅 요구량(GHz)이며 가장 큰 컴퓨팅 요구량의 값을  $g_{max}$ 라 한다. 또한 cluster balancing 비율은 할당된 VNF들이 비슷한 환경에서 수행될 수 있도록 cluster의 잔여사용량을 맞추기

위한 작업이며 단위는 %이고  $B$ 이라 한다. Credit value를 선정하는 수식은 다음과 같다.

$$\left( \frac{g_{\max} \cdot \text{Credit}}{r_{u,\max} \cdot N_C} \right) \cdot 100 \leq B(\%) \quad (1)$$

$$\text{Credit} \leq \left( \frac{B}{100} \right) \cdot \left( \frac{r_{u,\max} \cdot N_C}{g_{\max}} \right)$$

수식 (1)에서  $r_{u,\max}$ 는 server  $u$ 에서 사용할 수 있는 사용량의 최대값이며 단위는 GHz이고  $N_C$ 는 cluster를 구성하는 server의 수를 나타낸다. Credit value는  $g_{\max}$  하나의 cluster에서 사용할 수 있는 CPU 사용량의 총합을 나눈값이 cluster balancing 비율을 넘지 않는 최대값을 가진다. 예를 들어  $g_{\max}$ 가 2.0GHz,  $r_{u,\max}$ 가 20GHz,  $N_C$ 가 20,  $B$ 가 5%일 경우 credit value는 10의 값을 가지며 이는 cluster의 상태값 계산을 하지 않고 받을 수 있는 slice request의 수를 의미한다.

이처럼 credit value를 이용하여 slice request를 처리할 경우 다음과 같은 문제를 해결해야한다.

- i) 할당할 수 있는 VNF의 컴퓨팅 요구량은 서로 다르기 때문에 cluster 별 사용량 평균은 차이가 발생할 수 있다.
- ii) Cluster에서 한 종류의 VNF를 할당할 수 있는 최대 개수는  $N_C$ 이다.

i)의 경우, VNF의 컴퓨팅 요구량은 종류마다 다르기 때문에 같은 개수의 slice request를 처리하더라도 각 cluster의 잔여사용량은 차이가 발생한다. Credit value를 갱신하여 slice request를 처리할수록 cluster 간 잔여 사용량의 차이는 큰 값을 가질 수 있으므로 cluster balancing에 큰 영향을 끼친다. 따라서 credit value가 끝날 때마다 cluster의 잔여 사용량에 따라 추가적인 credit value를 부여하여 cluster balancing을 유지한다. 추가적인 credit value인 supplement value를 부여하는 수식은 다음과 같다.

$$\text{Supplement} = \frac{\left( \sum_{u \in V_{CS}^n} r_u - R_{\max} \right)}{g_{\max}} \quad (2)$$

$$R_{\max} = (r_{u,\max} \cdot N_C) - (g_{\max} \cdot \text{Credit} \cdot N) \quad (3)$$

수식 (2)에서  $V_{CS}^n$ 는  $n$ 번째 cluster에 속한 servers을 나타내며 각 cluster에 속한 servers의 잔여 사용량의 합에서  $R_{\max}$ 의 값을 뺀 후  $g_{\max}$ 로 나눈 값을 Supplement value로 선정한다. 수식 (3)에서  $N$ 은 credit value가 계산된 횟수이며  $R_{\max}$ 는 만약 할당된 VNF가 모두  $g_{\max}$ 일 경우, credit value가 모두 수행되었을 때 해당 cluster의 잔여 사용량을 의미한다. 이처럼 credit value와 supplement value를 이용하여 설정한 cluster balancing을 유지한다.

ii)의 경우, server 당 한 종류의 VNF만 할당할 수 있으므로 하나의 VNF에 대해 cluster마다 할당할 수 있는 수는  $N_C$ 이다. Credit value로만 slice request를 처리하게 되면 이미  $N_C$ 만큼 할당한 cluster에 다시 VNF를 할당하게 할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 threshold를 설정하여 credit value를 변경해야 한다. Threshold를 설정하는 방법은 독립시행의 확률을 이용하여 구한다. 다음은 threshold를 구하는 수식이다.

$$\text{Threshold} = T_{\text{Request}} \cdot P_{\text{Independent}}^n < 1 \quad (4)$$

$$P_{\text{Independent}}^n = {}_n C_r P^n (1-P)^{(n-r)} = P^n, \quad n=r \quad (5)$$

수식 (4)에서  $T_{\text{Request}}$ 은 모든 servers에서 처리할 수 있는 slice request 양을 나타내고  $P_{\text{Independent}}^n$ 은 독립시행의 확률을 나타내며 수식 (5)와 같다. Slice request는 이전 request에 영향을 미치지 않기 때문에  $P_{\text{Independent}}^n$ 은 독립 시행 확률이다. Threshold는 수식 (4)를 만족하는  $n$ 값이다.

예를 들어, VNF가 10개, 총 server의 수는 100개이고 server 당 할당 가능한 VNF의 종류가 10이라고 가정한다. 이 경우  $T_{\text{Request}}$ 는 1000의 값을 가진다.  $P_{\text{Independent}}^n$ 의 값은 같은 종류의 slice request가 2개 이상일 경우를 계산해야 한다. 같은 종류의 slice request가 2개일 경우  $(\frac{1}{10})^2$ 의 값을 가지며 3개일 경우는  $(\frac{1}{10})^3$ , 4개일 경우  $(\frac{1}{10})^4$ 이다. 이 중 수식 (4)를 만족하기 위해서는  $P_{\text{Independent}}^n$ 가 같은 종류의 slice request가 4개 이상 발생할 확률일 때 만족한다. 따라서 threshold의 값은 4이다. 이처럼 threshold가 발생하면 해당 cluster의 credit

value는 다음과 같은 수식을 이용하여 구한다.

$$Min \sum_{i \in V_F, u \in V_{CS}} x_u^i \quad (6)$$

수식 (6)에서  $x_u^i$ 는 server u에 VNF i가 할당가능하면 1의 값을 가지고 이미 할당되었으면 0의 값을 가지는 binary value이다. Threshold가 발생한 cluster는 기존 credit value를 사용하지 않고 cluster에 속한 모든 server에 대해  $x_u^i$ 의 최소값 credit value로 선정한다. 만약 모든 cluster에서 threshold가 발생했고 수식 (6)의 값이 0이라면 credit value를 사용하는 것이 아닌 slice request가 발생할 때 마다 수식 (6)을 이용하여 할당한다.

## 2.2. Server 선정

Credit value를 이용하여 cluster를 선택하였으면 적당한 server에 할당해야 한다. Server를 선택하는 방법은 D. Sattar et al.과 S. M. Park et al.의 연구에서 제안한 MILP formulation을 응용하여 구한다.

$$Maximum \sum_{i \in V_F, u \in V_{CS}} r_u x_u^i \gamma_u^i + \sum_{(i,j) \in E_F, (u,v) \in E_{CS}} r_{u,v} f_{u,v}^{ij} \quad (7)$$

subject to:

$$\sum_{i \in V_F} x_u^i \leq K_{rel}, \quad \forall u \in V_{CS}, \quad K_{rel} = 1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V_F} g^i \leq \sum_{u \in V_{CS}} r_u \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in E_F} g_{uv}^{ij} \leq \sum_{(u,v) \in E_{CS}} r_{uv} \quad (10)$$

Objective function인 수식 (7)은 server에 대한 부분과 해당 server에 연결되어 있는 link로 이루어져 있다.

먼저 server에 대한 부분은 3가지 변수로 구성된다. Cluster에 속한 server u에 대해 잔여 사용량을 나타내는  $r_u$ , binary value인  $x_u^i, \gamma_u^i$ 는 0 또는 1의 값을 가지며 각각 server u에 VNF i가 이미 할당되어 있는지, 할당이 가능한 지표를 나타낸다.  $\gamma_u^i$ 의 경우는 intra-slice isolation을 뜻하는  $K_{rel}$ 에 영향을 받는다. 예를 들어 VNF의 종류는 10이고  $K_{rel}$ 이 5일 때, server u에 할당된 VNF의 수가 5보다 작으면  $\gamma_u^i$ 는 1의 값을 가지며 할당된 VNF의 수가

5이면 0의 값을 가진다. 서버의 사용률을 이용한 기존 제안 방안과 다르게 본 논문에서는 잔여 사용량을 이용한다. 이는 3개의 변수 중 binary value인  $x_u^i, \gamma_u^i$ 를 제외하면 실수로 표현된다. Server u에 VNF i를 할당할 수 있을 때, server의 선택은 사용량으로 결정된다. 따라서 하나의 변수로 결정되기 때문에 1보다 작은 실수 대신 큰 실수를 사용하기 위해 잔여 사용량으로 계산한다.

Link에 대한 부분은 2개의 변수로 구성된다. 해당 link의 잔여 사용량을 나타내는  $r_{u,v}$ 와 해당 link에 할당해야 VNF i에 대한 bandwidth의 양을 나타내는  $f_{uv}^{ij}$ 가 있다. Server에 대한 부분과 마찬가지로 link의 사용률 대신 잔여 사용량을 이용한다.

이처럼 본 논문의 objective function은 기존 논문과 달리 불필요한 연산을 제거하여 수식을 간편화 하였다. 먼저 1보다 작은 실수의 값을 가지는 utilization 수식인  $\left(1 - \frac{r_u}{r_{u,max}}\right), \left(1 - \frac{r_{uv}}{r_{uv,max}}\right)$ 을 각각  $r_u, r_{uv}$ 로 대체하였다. 이는 utilization과 잔여사용량은 같은 의미지만 utilization을 이용한 objective function은 잔여사용량을 이용한 objective function보다 총 slice request ( $K_{rel} \cdot V_S$ )만큼 더 연산이 발생하기 때문에 utilization을 제거하였다. 또한 server 부분에서 컴퓨팅 요구량인  $g^i$ 를 제거하였다. 이는 slice request에 맞는 server를 선정할 때  $g^i$ 는 영향을 끼치지 않는다. 왜냐하면  $g^i$ 는 server에 따라 값이 변하는 것이 아닌 VNF에 따라 변하기 때문이다.

Constraint (8)~(10)은 objective function을 수행할 때, 충족되는 조건들이다. Constraint (8)은 intra-slice isolation인  $K_{rel}$ 의 조건이고 constraint (9)~(10)은 할당해야 할 server와 link의 컴퓨팅 요구량이 선택된 server와 link의 잔여 사용량을 넘을 수 없는 조건이다. 다음 표 1은 본 논문에서 사용된 notation을 정리한 것이고 그림 1은 제안 방안의 순서도이다.

**Table. 1** Notation in proposed method

Symbol	Description
$r_u$	Residual capacity of server u in GHz
$r_{u,max}$	Maximum capacity of server u in GHz
$r_{uv}$	Residual capacity of link(u,v) in Mbps
$x_u^i$	Assignment of VNF i to server u

Symbol	Description
$\gamma_u^i$	Feasibility indicator of the mapping of VNF I to server u
$g^i$	Computing demand of VNF i in GHz
$g^{ij}$	Computing demand of edge (i, j) in Mbps
$f_{uv}^{ij}$	Amount of bandwidth assigned to link (u, v) for edge (i, j) in Mbps
$V_{CS}^n$	Number of servers present in the n-th cluster
$V_{CS}$	A set of servers in cluster
$V_F$	A set of VNF
$E_F$	A set of edge
$E_{CS}$	A set of edge in cluster

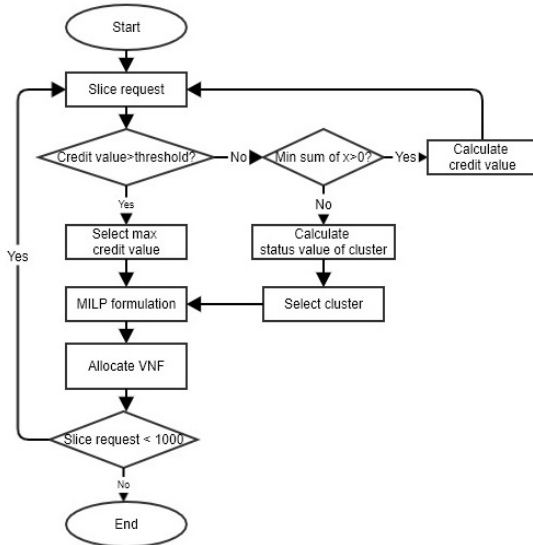


Fig. 1 Flow chart of proposed method

### III. 성능 분석

본 제안방안의 효율성을 검증하기 위해 CPU i7-2600 3.4GHz, 24GB RAM 환경에서 Java를 이용하여 5G core network 및 slicing request를 구현하였고, MILP solver로 CPLEX 12.9.0을 이용하였다. 다음 그림 2와 표 2의 환경에서 기존 방안들과 제안방안의 processing time, balancing을 비교분석 하였다.

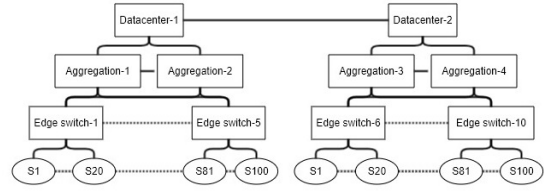


Fig. 2 Simulation architecture

Table. 2 Simulation parameters

Parameters	Values
Datacenter bandwidth	20Gbps
Aggregation bandwidth	10Gbps
Edge bandwidth	1Gbps
Physical server bandwidth	250Mbps
CPU capacity per server	20GHz
Total servers	100
VNF per slice	10
Intra-slice isolation	10
Total slice request	1000
Computing demand of VNF per slice	0.5~2.0GHz
Computing demand of edge per slice	30~70Mbps

모든 simulation에서 intra-slice isolation은 10, 모든 servers의 CPU 용량은 20GHz, cluster는 5개, cluster 당 서버의 수는 20개이다. 또한 VNF는 0.5~2.0GHz 사이의 값을 가지는 10개로 구성하여 임의의 순서로 slice request를 발생시킨다.

먼저 processing time 측정은 clustering 기법을 사용하지 않은 기존 방안, clustering 기법을 적용한 방안, credit value를 적용한 방안 총 3가지 방안을 비교분석 하였다. 그 결과, processing time 결과는 기존 방안이 12.16초, clustering 기법은 6.61초, 제안 방안은 5.81초가 걸렸다. 기존 방안은 slice request가 발생할 때 마다 모든 servers에 대해 MILP 연산이 발생하지만 제안 방안의 경우 선택된 cluster에 속한 servers에 대해서만 MILP 연산이 수행되므로 processing time이 약 48.68% 감소하였다. 또한 slice request가 발생할 때 마다 cluster를 선택하는 연산이 발생하는 clustering 기법보다 제안 방안이 약 13.72% 감소하였다. 다음 그림 3과 표 3은 processing time simulation의 결과값이다.

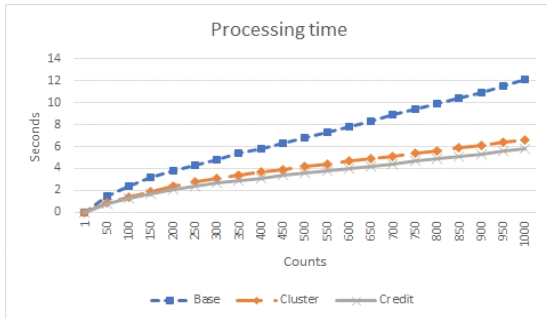


Fig. 3 Result of processing time simulation

Table. 3 Decreasing rate of processing time simulation

	Decreasing rate of between Base and Credit	Decreasing rate of between Cluster and Credit
200	25.5 %	13.7 %
400	46.7 %	14.8 %
600	48.6 %	13.7 %
800	50.87 %	13.58 %
1000	52.23 %	12.14 %
Avg	48.68 %	13.72 %

두 번째 simulation은 balancing을 측정하였다. Balancing 측정은 clustering 기법과 제안 방안에서 가장 큰 잔여 사용량을 가진 cluster와 가장 작은 잔여 사용량을 가진 cluster에 대한 오차율을 비교분석 하였다. 그 결과, slice request 초반에서는 clustering 기법의 오차율이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 slice request가 발생하여 cluster를 선정할 때 credit value만 참고하여 VNF를 할당하기 때문이다. 모든 credit value가 threshold보다 작고 수식(6)이 0이 아닐 때 supplement value를 고려하여 credit value를 갱신한다. 표 4와 같이

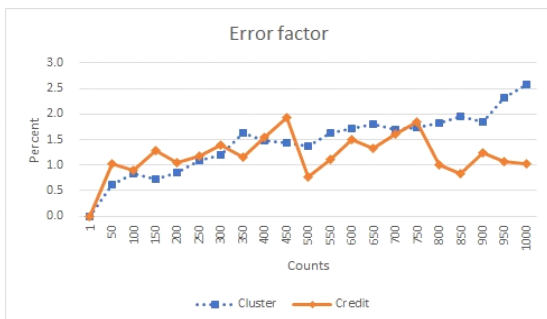


Fig. 4 Result of balancing simulation

slice request가 진행될수록 제안 방안의 오차율이 clustering 기법의 오차율보다 더 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안 방안의 평균 오차율은 약 1.24%로 clustering 기법의 평균 오차율인 약 1.52%보다 작은 것을 확인할 수 있다. 다음 그림 4와 표 4는 balancing simulation의 결과값이다.

Table. 4 Decreasing rate of between Cluster and Credit

	Decreasing rate of between Cluster and Credit
200	-20.96%
400	-4.35%
600	12.57%
800	45.49%
1000	59.71%
Avg	7.96%

#### IV. 결론

모바일 폰에 최적화 된 기존 네트워크는 IoT, 자율주행 자동차, 스마트 시티 등 다양한 분야에 적합한 서비스를 제공하기 어렵다. 서로 다른 속성을 갖는 다양한 단말들을 대상으로 최적의 서비스를 제공하기 위해 초고속, 초저지연, 초연결의 특성을 가지는 5G networks가 주목받고 있다. 특히 5G networks의 핵심 기술 중 하나인 network slicing은 요구되는 서비스에 특화된 전용 network를 제공할 수 있기 때문에 불필요한 자원 낭비를 해결할 수 있고 동영상, SNS, 웹포털로 인해 폭발적으로 증가하는 데이터 트래픽을 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 이처럼 network slicing을 이용하여 효율적인 자원 할당을 위한 다양한 연구가 진행 중이다.

따라서 본 논문에서는 credit value를 적용하여 효율적으로 자원 할당 방안을 제안한다. Clusters의 자원이 충분한 slice request 초반에는 credit value를 이용하여 balancing을 맞추면서 cluster 선정에 소모되는 시간을 감소시킨다. 또한 할당할 수 있는 VNF의 수에 따라 threshold를 설정하여 credit value를 다시 연산하여 모든 slice request에 대한 자원 할당이 가능하도록 하였다. 제안 방안의 효율성을 입증하기 위해 5G networks 환경을 구성한 후 processing time과 balancing simulation을 진행하였다. 그 결과, credit value를 적용하여 cluster 선

정하기 위해 수행되는 연산 작업을 감소시킨 제안 방안의 processing time이 아무것도 적용하지 않은 기존 방안보다 약 48.68%, clustering 기법만 적용한 방안보다 약 13.72% 감소하였다. 또한 balancing simulation에서는 제안 방안의 평균 오차율은 약 1.24%로 clustering 기법의 평균 오차율인 약 1.52%보다 작은 것을 확인할 수 있다.

향후 slice request의 수의 제한을 두지 않고 resource allocation과 deallocation을 고려하여 5G network에서 지속적으로 resource management를 할 수 있도록 하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## References

- [ 1 ] Q. Ye and W. Zhuang, "Distributed and Adaptive Medium Access Control for Internet-of-Things-Enabled Mobile Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 446-460, 2017.
- [ 2 ] J. H. Jahng and S. K. Park, "Mobile Traffic Trends," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 34, no. 3, pp. 106-113, 2019.
- [ 3 ] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.
- [ 4 ] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, "Software-Defined Networking: A comprehensive Survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp.14-76, 2015.
- [ 5 ] R. Mijumbi, J. Serrat, J. L. Gorricho, N. Bouten, F. D. Turck, and R. Boutaba, "Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 236-262, 2016.
- [ 6 ] S. Kianpisheh and R. H. Glitho, "Cost-Efficient Server Provisioning for Deadline-Constrained VNFs Chains: A Parallel VNF Processing Approach," *2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference*, 2019.
- [ 7 ] S. Ahvar, H. P. Phyu, S. M. Buddhacharya, E. Ahvar, N. Crespi, and R. Glitho, "CCVP: Cost-efficient centrality-based VNF placement and chaining algorithm for network service provisioning," *2017 IEEE Conference on Network Softwarization*, 2017.
- [ 8 ] H. Wei, Z. Zhang, and B. Fan, "Network slice access selection scheme in 5G," *2017 IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference*, 2017.
- [ 9 ] D. Dietrich, C. Papagianni, P. Papadimitriou, and J. S. Baras, "Network function placement on virtualized cellular cores," *2017 9th International Conference on Communication Systems and Networks*, 2017.
- [ 10 ] D. Sattar and A. Matrawy, "Optimal Slice Allocation in 5G Core Networks," *IEEE Networking Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 48-51, 2019.
- [ 11 ] S. M. Park and Y. S. Mun, "Efficient slice Allocation Method using Cluster Technology in Fifth Generation Core Networks," *Journal of information and communication convergence engineering*, Vol. 17, No. 3, pp. 185-190, Sep. 2019.



**박상면(Sang-Myeon Park)**

송실대학교 컴퓨터학부 공학사  
 송실대학교 컴퓨터학과 공학석사  
 송실대학교 컴퓨터학과 박사과정  
 ※관심분야 : Cloud computing, Internet of Things, 5G Network



**문영성(Young-Song Mun)**

연세대학교 전자공학과 공학사  
 Univ. of Alberta 전자공학과 공학석사  
 Univ. of Texas Arlington 컴퓨터공학과 공학박사  
 한국통신연구원 연구원  
 송실대학교 컴퓨터학과 교수  
 ※관심분야 : Cloud computing, Internet of Things, 5G Network, Blockchain