

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.715>

JCCT 2023–5–83

DSCP 재정의를 통한 효율적인 QoS 정책 구현: 네트워크 부하 분산을 위해

Efficient QoS Policy Implementation Using DSCP Redefinition: Towards Network Load Balancing

이한우*, 김수환**, 박건우***

Hanwoo Lee*, Suhwan Kim**, Gunwoo Park***

요약 군은 4차 산업혁명으로 AI, 클라우드 컴퓨팅, 드론봇 운용 등 혁신적인 변화를 추진하고 있다. 이러한 변화는 하급 제대의 모든 전투원에 이르기까지 IoT 기반의 네트워킹이 발생함으로써 정보교환 요구량이 급격히 증가할 것으로 예상된다. 따라서 지상망, 정지위성 및 저궤도 소형통신 위성 등 다양한 기반체계를 통해 효율적인 정보유통을 보장해야 하며, 이를 통해 유통되는 정보교환요구량을 적절히 분산시켜야 할 필요성이 제기된다. 본 연구에서는 정보유통 시 QoS (Quality of Service)와 밀접히 관련된 DSCP에 11개 우선순위를 재정의하고, 군집 분석을 통해 식별된 국방 "정보교환요구목록"의 군집 그룹과 1:1로 매핑하는 연구를 수행하였다. 연구의 목적은, 중요한 정보교환요구 목록들이 우선순위를 갖고 라우팅이 되도록 QoS 정책을 재수립함으로써, 제한된 대역폭을 갖는 다계층 통합망(지상망, 정지위성망, 저궤도 소형통신위성망) 내에서 효율적인 정보유통을 보장하기 위한 것이다. 본 논문에서는 군집 분석을 통해 분류된 정보교환요구목록이 DSCP에 얼마나 잘 할당되었는가를 M&S를 통해 평가하였으며, 제안하는 DSCP 재분류를 통해, 대역폭이 제한된 네트워크 환경에서 보다 효율적으로 정보가 유통되는 것을 확인하였다.

주요어 : 정보교환요구량, DSCP (Differentiated Services Code Point), 군집분석, 다계층 통합망, 정보유통, M&S

Abstract The military is driving innovative changes such as AI, cloud computing, and drone operation through the Fourth Industrial Revolution. It is expected that such changes will lead to a rapid increase in the demand for information exchange requirements, reaching all lower-ranking soldiers, as networking based on IoT occurs. The flow of such information must ensure efficient information distribution through various infrastructures such as ground networks, stationary satellites, and low-earth orbit small communication satellites, and the demand for information exchange that is distributed through them must be appropriately dispersed. In this study, we redefined the DSCP, which is closely related to QoS (Quality of Service) in information dissemination, into 11 categories and performed research to map each cluster group identified by cluster analysis to the defense "information exchange requirement list" on a one-to-one basis. The purpose of the research is to ensure efficient information dissemination within a multi-layer integrated network (ground network, stationary satellite network, low-earth orbit small communication satellite network) with limited bandwidth by re-establishing QoS policies that prioritize important information exchange requirements so that they are routed in priority. In this paper, we evaluated how well the information exchange requirement lists classified by cluster analysis were assigned to DSCP through M&S, and confirmed that reclassifying DSCP can lead to more efficient information distribution in a network environment with limited bandwidth.

Key words : Information Exchange Requirements, DSCP, Cluster analysis, Multi-layer integrated network M&S

*정회원, 국방대학교 군사운영분석학과 박사과정 (제1저자)

**정회원, 국방대학교 군사운영분석학과 교수 (참여저자)

***정회원, 국방대학교 컴퓨터공학과 교수 (교신저자)

접수일: 2023년 3월 30일, 수정완료일: 2023년 4월 14일

게재확정일: 2023년 5월 8일

Received: March 30, 2023 / Revised: April 14, 2023

Accepted: May 8, 2023

***Corresponding Author: hanwoo111@naver.com

Korea National Defense Univ, Korea

I. 서론

국방부는 국방혁신 4.0을 통해 미래 군사 전략과 작전개념을 수립하고, 4차 산업혁명에 따른 첨단 과학기술을 기반으로 통합 작전개념을 발전시키기 위해 우주·공중·지상·해양 등 전 영역을 통합하고 있다. 즉, 미래에는 클라우드-엣지 컴퓨팅의 발달과 IoT 기술 적용 등으로 <그림 1>과 같이 다계층 통합망을 기반으로 개별 전투원까지 초소형 센서 네트워크 기반의 전투를 수행하게 될 것이다.[1][2][3]

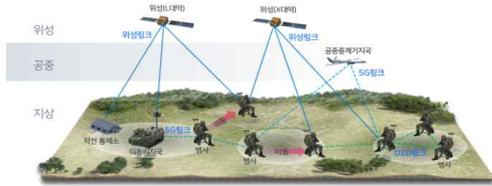


그림 1. 다계층 통합 네트워크[4]
Figure 1. Multilayer Converged Network

뿐만 아니라, 미래에는 클라우드-엣지 컴퓨팅과 최첨단 센서 및 AI 기술이 탑재된 무인 무기체계를 통해 디지털화된 영상 및 신호 등의 정보교환 요구량 (IER, Information Exchange Requirement)이 현재에 비해 폭발적으로 증가할 것이다. 따라서, 미래 네트워크 구조에서는 정보교환 요구량을 적절하게 분산시킬 수 있는 네트워크 트래픽 제어 기술이 매우 중요하다. 단순히 대역폭만 증가시키는 것은 폭발적으로 증가하는 정보교환 요구량을 충족시키기에는 부족하다. 따라서, 행정 정보와 같은 긴급성을 요구하지 않는 데이터는 우회 전송로를 통해 송·수신되도록 네트워크 경로를 설정하는 등 ‘라우팅 방법 개선’을 통해 정보흐름을 효율적으로 제어해야 할 필요성이 있다. 특히, 우주·공중·지상 등 다계층 통합 네트워크에서는 부하를 분산시키기 위한 ‘통합망 라우팅 기술’이 매우 중요하다.

따라서, 본 논문에서는 다계층 통합 네트워크에서 제한된 대역폭을 효과적으로 활용하기 위한 QoS (Quality of Service, 품질보증) 정책을 제안하였다. 이를 위해 데이터의 특성에 따라 우선순위를 부여할 수 있는 DSCP (Differentiated Services Code Point, 차등 서비스 코드 포인트)를 재정의하고, 정보교환 요구 목록을 DSCP와 동일한 11개의 군집으로 그룹화

한 후, DSCP에 일대일로 분류하는 작업을 수행하였다. 제한한 QoS (Quality of Service) 정책은 ‘정보교환 요구 목록’에 우선순위를 부여하여, 최적의 경로 (지상망 또는 우주망)를 선택하여 목적지까지 안전하고 신속하게 데이터를 전송함으로써 네트워크 부하분산 효과를 달성하는 것을 목표로 하였다. 제한한 QoS 정책은 M&S (Modeling and Simulation)을 통해 검증하였으며, 제한된 대역폭에서도 부하분산 효과를 보다 효율적으로 달성할 수 있음을 확인하였다.

II. 관련이론

1. 라우팅과 DSCP

라우팅은 데이터 패킷을 목적지로 전송하기 위한 경로를 결정하는 과정이다. QoS는 데이터 패킷의 우선순위를 설정하고, 네트워크 대역폭을 효율적으로 관리함으로써 특정한 서비스의 성능을 보장하기 위한 방식이다. 이를 위해 DSCP가 사용되며, DSCP는 <그림 2>와 같이 IP (Internet Protocol) 패킷의 헤더 필드 중 하나로서, 데이터에 우선순위를 부여하기 위해 사용한다. 라우터는 DSCP에 설정된 QoS 정책에 따라 우선순위가 높은 패킷에 더 높은 대역폭을 할당함으로써, 특정 데이터를 원하는 네트워크 경로를 선택하여 전송할 수 있다.[5] 이를 통해 네트워크의 부하분산과 효율적인 대역폭 사용을 가능하게 한다.

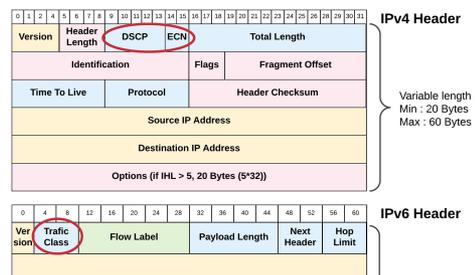


그림 2. DSCP의 위치[6]
Figure 2. Location of DSCP

DSCP는 BE, AF, EF로 구성되며, 각각은 다른 우선순위를 가진다. BE (Best Effort)는 우선순위가 지정되지 않은 일반적인 데이터 패킷을 나타내며, DSCP 값이 0으로 설정된다. BE에 해당하는 패킷은 네트워크 혼잡이 발생하면 제일 먼저 폐기되거나 지연될 가능성이 크기 때문에, 높은 QoS를 요구하지 않는 일반적인 데이

터 전송에 사용된다. <그림 3>은 AF에 대해 우선순위를 부여한 예로, 4가지 우선순위 레벨(각각 AF11, AF12, AF13, AF21, AF22, AF23, AF31, AF32, AF33, AF41, AF42, AF43)이 할당되어 있으며, 각 레벨은 서로 다른 전송 우선순위를 가진다.

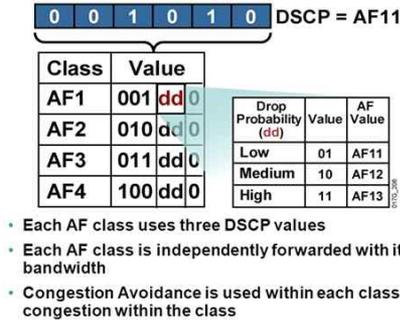


그림 3. DSCP 클래스별 우선순위 분류(AF)[7]
 Figure 3. DSCP Class-Specific Priority Classification

EF는 최고 우선순위 레벨을 나타내며, 높은 전송 우선순위를 갖는 패킷에 할당된다. 이와 같이 DSCP를 이용한 우선순위 기반의 QoS 정책을 통해 패킷을 처리함으로써, 네트워크 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있다.

2. 군집분석

군집분석은 데이터들을 서로 비슷한 특징을 갖는 몇 개의 그룹(클러스터)으로 묶는 기법이며, 계층적 군집분석과 비계층적 군집분석으로 나뉜다. 계층적 군집분석은 데이터 간의 유사성을 계층 구조로 시각화하여 표현하는 방법으로, 유클리드 거리, 맨하탄 거리 등의 거리 측정 방법을 사용한다. 비계층적 군집분석은 K-means 군집분석, DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 등의 방법이 있으며, K-means 군집분석이 가장 대표적인 방법이다. K-means 군집화 알고리즘은 5단계로 구성되며[8], 첫 번째 단계는 군집화를 위해 군집의 수(K)를 지정한다. 두 번째 단계에서는 초기 중심점을 임의로 설정한 후, 세 번째 단계에서는 주어진 데이터를 거리상 가장 가까운 군집(중심점)으로 할당한다. 네 번째 단계에서는 군집에 할당된 데이터의 평균값으로 중심점을 재설정하며, 다섯 번째 단계에서는 중심점의 이동이 더 이상 없을 때까지 세 번째와 네 번째 단계를 반복 수행한다. 이 과정에서 각 데이터는 가장 가까운 중심점으로 할당되며, 설정한 K 만큼 군집이 형성된다.

III. 제안하는 방법

1. 데이터 중요도에 따른 DSCP 정의

DSCP는 데이터의 중요도를 판단하기 위한 기준으로, 2개(신속성·안정성) 지표와 3단계(상·중·하) 등급을 적용하여 11개의 DSCP를 정의하였다. 11개 DSCP 중 최상과 최하의 우선순위 2개는 각각 EF (Expedited Forwarding)와 BE (Best Effort)에 정의하였고, 나머지 9개 DSCP는 <그림 4>와 같이 2개 지표와 3단계 등급을 적용하여 AF (Assured Forwarding)에 정의하였다.

최상	신속성									최하	
	'상'			'중'			'하'				
	안정성			안정성			안정성				
	'상'	'중'	'하'	'상'	'중'	'하'	'상'	'중'	'하'		
EF	AF41	AF42	AF43	AF31	AF32	AF33	AF21	AF22	AF23	BE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

그림 4. DSCP 중요도 기준 (11개 정의)
 Figure 4. DSCP Importance Criteria (11 Definitions)

2. 군집분석을 위한 설문조사

제정의 한 11개의 DSCP에 1:1로 매핑시킬 정보교환 요구목록의 중요도(안정성, 신속성)를 판단하기 위해 정책부서 의사결정권자, 야전실무 담당자, 지휘관 등 다양한 직책을 수행 중인 122명의 장교(대령 15명, 중령 50명, 소령 42명, 대위 이하 15명)를 대상으로 설문을 실시하였다. 부대는 전략제대와 군단, 사단, 여단급 및 대대급 이하의 야전부대를 주요 대상으로 선정하였으며, 다양한 유형의 부대를 대상으로 설문을 실시하기 위해 학교기관(육군대학, 사관학교, 국방대학교)과 시험평가 및 데이터 분석 업무 등을 수행하는 군관련 기관을 설문 대상에 포함하였다.

총 352개의 정보교환요구목록을 대상으로 설문을 실시하였으며, 설문항목에 대한 우선순위 부여 기준은 '신속성'과 '안정성'이다. '신속성'은 빠른 상황전파 및 조치를 위하여 다른 정보교환요구목록보다 우선 시 되어야 하는 정도이다. '안정성'은 정확한 정보를 전달하기 위하여, 다른 정보교환요구목록보다 패킷의 손실이 적어야 하는 정도이며, 데이터 송·수신 시 데이터의 신뢰성이 요구되는 정보를 의미한다. DSCP 정의 시, 우선순위는 데이터 송·수신에 대한 신속성을 고려하였고, 데이터의 손실 여부에 대해서는 데이터의 안정성을 고

려함에 따라, 정보교환요구목록에 대한 설문 기준을 DSCP와 동일하게 신속성과 안정성으로 선정하였다. 설문은 5점 척도법을 적용하였으며, <표 1>은 각 정보교환요구목록의 신속성과 안정성에 대해 설문을 통해 부여받은 점수 일부를 발췌한 결과이다. 이와 같이 352개의 정보교환요구목록에 대한 설문결과는 K-means 군집분석 알고리즘을 적용하여 DSCP와 동일한 11개로 군집화를 수행한다.

표 1. 설문결과 (일부발췌)

Table 1. Survey Results (sample)

구분	정보교환요구목록	신속성	안정성
1	ANTPQ임무대행명령	3.6	3.4
2	ATCIS고가치표적	3.7	3.733333
3	NBC-1보고	4.193548	3.935484
...
352	MCRC경계/공습경보	4.1	3.666667

3. K-means 기반 정보교환요구목록 군집분석

352개의 정보 송·수신 정보교환요구목록을 K-means 군집분석을 통해 11개의 군집으로 분류하였으며, <그림 5>는 11개로 군집화된 결과를 나타낸다.

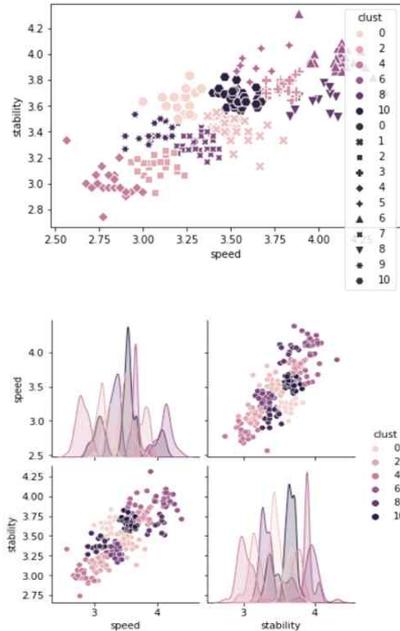


그림 5. 군집분석 결과의 시각화
Figure 5. Visualization of Cluster Analysis Results

그래프에서 x축은 신속성(speed), y축은 안정성(stability)을 의미하며, 각 그룹 내 정보교환요구목록들은 비슷한 수준의 신속성과 안정성을 갖는 항목들끼리

군집을 이루고 있음을 확인할 수 있다. 11개의 정보교환요구목록에 대한 군집은 11개의 DSCP에 1:1 매핑되며, 결과는 <표 2>와 같다.

표 2. K-means 기반 정보교환요구목록 분류

Table 2. K-means-based information exchange request list classification

DSCP	내 용	5점 척도결과값		보고 목록 개수
		신속성	안정성	
EF	신속 전송 (우선순위 최상)	4.11853	3.958495	80
AF	41 priority 4, low drop	4.004588	3.628124	56
	42 priority 4, medium drop	3.650896	3.907355	101
	43 priority 4, high drop	3.793574	3.755433	117
	31 priority 3, low drop	3.539288	3.661456	225
	32 priority 3, medium drop	3.503454	3.422791	98
	33 priority 3, high drop	3.209623	3.645159	122
	21 priority 2, low drop	3.32187	3.29909	121
	22 priority 2, medium drop	3.057802	3.395559	50
	23 priority 2, high drop	3.09065	3.142117	127
BE	우선순위 가장 낮은 전송	2.806645	3.016984	236

IV. 제안하는 DSCP의 효과검증

제안된 DSCP의 재분류 결과의 효과를 검증하기 위해 M&S를 수행하였다. M&S는 네트워크에서 라우팅을 통해 정보교환요구목록을 유통시키고, 유통되는 정보량을 제안하는 방식과 이전의 방식을 상호 비교함으로써 효과를 평가하였다. [9][10]

1. 정보유통량의 측정

M&S를 위한 시뮬레이션 엔진은 Riverbed Modeler(OPNET)을 사용하였다. OPNET은 통신망 전용 시뮬레이터로서, 높은 정밀도의 모델링 시뮬레이션 가능하며 광범위한 무선, 위성 통신망의 상세한 분석 가능(Optional)하다. 정보유통량 측정을 위해 네트워크 토폴로지는 <그림 6>과 같이 총 3가지 경우를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

첫 번째와 두 번째 토폴로지는 각각 지상망과 저궤도 소형 위성망을 독립적으로 운영하는 반면, 세 번째

토폴로지는 지상망, 저궤도 소형 위성 및 정지위성을 통합하여 운영하는 다계층 통합망이다. [11]

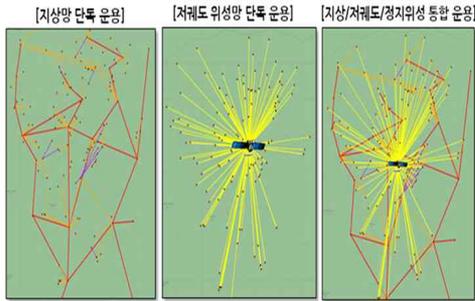


그림 6. 네트워크 토폴로지
 Figure 6. Network Topology

1) 각 망별 정보유통량 비교

정보유통량에 대한 시뮬레이션 수행 결과는 <표 3>과 같다. 기존 DSCP에 의한 지상망 단독 운용 시 네트워크 전체유통량은 1,278Mbps이며, 링크 1개당 평균 정보유통량은 2.57Mbps로 측정되었다. 저궤도 소형 통신위성 단독 운용 시 네트워크 전체유통량은 768Mbps이며, 링크 1개당 평균 정보유통량은 1.79Mbps로 측정되었다. 통합망 운용 시 네트워크 전체유통량은 739Mbps로 측정되었다.

제안하는 DSCP에 의한 지상망 단독 운용 및 저궤도 위성 단독 운용 시의 정보유통량은 기존과 동일하였고, 통합망 운용 시 네트워크 전체유통량은 936Mbps로 측정되었다. DSCP 재분류 전 시뮬레이션의 정보유통량보다 약 26% 증가한 것으로 확인되었다. 정보유통량이 증가한 이유는 지상망을 통해 유통되는 정보 비율이 증가하였기 때문으로 확인되었으며, 지상망의 경우에는 정보 유통 시 경유하는 노드의 홉 수가 일부 증가하였기 때문으로 확인되었다.

표 3. 각 망별 정보유통량 비교

Table 3. Compare the amount of Information Distribution for each Network

구분		기존 DSCP	제안하는 DSCP
네트워크 전체 유통량	지상망 단독	1,278Mbps (496개 링크)	
	저궤도 위성망 단독	768Mbps (428개 링크)	
	통합망	739Mbps (1,352개 링크)	936Mbps (1,352개 링크)
링크 1개당 평균 정보 유통량	지상망 단독	2.57Mbps	
	저궤도 위성망 단독	1.79Mbps	
	통합망	0.55Mbps	0.69Mbps

2) 통합망 내에서 정보유통량 비교

<그림 7>은 통합망(지상망·저궤도 소형 위성·정지 위성)에서 네트워크별 정보유통량을 나타낸 것으로, 각 망별 부하분산의 효과를 확인한 결과이다. 기존 DSCP를 적용할 경우, 지상망으로 32%(237Mbps), 저궤도 소형 위성으로는 68%(501Mbps)의 정보가 유통되었으며, 정지 위성으로는 정보가 유통되지 않는 것을 확인하였다. 따라서, 효율적인 네트워크 대역폭 운용과 부하분산 측면에서 비효율적인 것을 알 수 있다.

반면, 제안하는 DSCP를 적용할 경우, 지상망으로 51% (473Mbps), 저궤도 소형 위성으로 36% (341Mbps), 정지 위성으로는 13% (122Mbps)의 정보가 각각 분산되어 유통되는 것을 확인하였다. 즉, 저궤도 위성망에 집중되던 정보유통량이 지상망과 정지 위성망으로 분산된 것을 확인할 수 있다. 특히, 지상망과 위성망 (저궤도 소형 위성·정지 위성)을 비교할 경우 1:1 비율로 적절히 부하가 분산되는 것을 알 수 있다. 이에 따라 DSCP 재분류를 통해 상대적으로 중요성이 낮은 정보들을 지상망과 정지 위성을 통해 분산시켜 제한된 대역폭을 더욱 효율적으로 활용할 수 있다는 결론을 도출하였다.

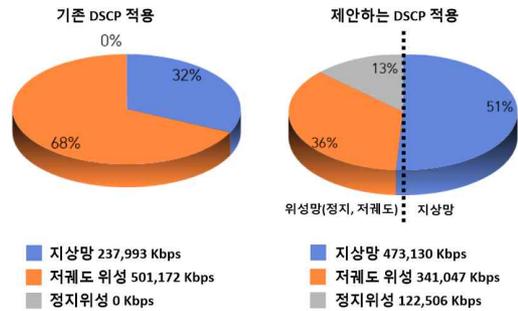


그림 7. 통합망(지상, 저궤도 위성, 정지 위성) 내 정보유통량 분석

Figure 7. Analysis of Information Distribution in Integrated Networks (Ground, Low Orbit, Geostationary Satellites)

V. 결 론

제안한 QoS 정책은 다계층 통합 네트워크의 제한된 대역폭 환경에서 효율적인 정보 전달을 위한 매우 유용한 방법이다. 제안하는 방법은 DSCP (Differentiated Services Code Point)를 재정의하고, 정보교환요구목록을 DSCP에 매핑하여 우선순위에 따라 라우팅하도록 한다. DSCP는 데이터의 특성에 따라 우선순위를 부여

하고, 이를 기반으로 네트워크에서 데이터를 전송하는 데 사용된다. 이와 같은 우선순위 부여를 통해 네트워크 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있으며, 전송 중 발생할 수 있는 지연, 패킷 손실 등의 문제를 최소화할 수 있다. 제안된 QoS 정책은 모델링 및 시뮬레이션을 통해 검증하였으며, 시뮬레이션 결과 제안하는 방법이 부하분산과 네트워크 대역폭 활용 측면에서 더 효과적인임을 확인하였다.

본 연구에서는 제한된 대역폭을 가진 다계층 통합 네트워크에서 효율적인 정보 전달을 위한 QoS 정책을 제안하였다. 그러나 향후 연구를 통해 더욱 발전된 QoS 정책을 제안할 수 있다. 첫째, 제안된 방식을 실제 네트워크 환경에서 구현하고 실험해 보는 것이 필요하다. 둘째, 다양한 네트워크 환경에서 제안된 방식의 효과를 검증하는 것이 필요하다. 마지막으로 보안 측면에서의 고려가 필요하다. 이러한 과제를 수행하여 더욱 발전된 QoS 정책을 제안할 수 있다면, 다계층 통합 네트워크에서의 효율적인 정보 전달을 더욱 효과적으로 할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] P.K. Park, S.J. Park, S.H. Cho, J.S. Kim, and Y.C. Kim, "A Study on the Prediction Method of Information Exchange Requirement in the Tactical Network", *Korea Information Assurance Society*, Vol. 22, No. 5, pp.95-105, 2022. DOI : 10.33778/kcsa.2022.22.5.095
- [2] M.S. Jung, S.P. Nam, and S.H. Park, "Innovation in how to combat the Army's military strategy for future combat victory", *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 6, No. 3, pp.105-109, August 31, 2020. DOI : 10.17703/JCCT.2020.6.3.105
- [3] H.W. LEE, M.S. Jung, S.H. Park, and J.K. Moon, "A Study on the Complementary Direction of the Future Infantry Squad's Structure in Combat Experiment with Manned and Unmanned", *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 8, No. 2, pp.171-177, March 31, 2022. DOI : 10.17703/JCCT.2022.8.2.171
- [4] The Kyunghyang Shinmun, "LIG넥스원, 급변하는 현대전 '통합통신단말기술' 개발 나서", <https://m.khan.co.kr/politics/defense-diplomacy/article/202209271342001#c2b>, Assessed on March 25, 2023
- [5] Nichols, K., Blake, S., Baker, F., & Black, D. "Definition of the Differentiated Services Field in the IPv4 and IPv6 Headers", *IETF*, 1998
- [6] François Goffinet, "Concepts QoS Cisco", <https://cisco.goffinet.org/ccna/disponibile-lan/concepts-qos-cisco/>, Assessed on March 25, 2023
- [7] Mysahred, "The Differentiated Services Model", http://player.myshared.ru/9/890167/slides/slide_9.jpg, Assessed on March 25, 2023
- [8] L.Yun-Jung, P. Sang-Hyun, K. Ji-Hyun. "Improving K-means Clustering Using a Hybrid Strategy of Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing Algorithm", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 35, No. 1, pp. 893-902.2023
- [9] Y. Chen, H. Zhang, Y. Chen, and Z. Feng, "Cost-Aware Routing for Multilayer Networks with Optical Circuit Switching", *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 3, pp. 1707-1721, 2021
- [10] X. Liu, W. Wang, X. Wang, and Q. Li, "Integrating Cost-Based Routing and Resource Allocation for Multi-Layer Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 29, no. 1, pp. 115-128, 2021
- [11] X. Zhou, J. Li, Q. Xu, "A Multilayer Routing Protocol Based on Multi-granularity Network Topology for Integrated Ground-satellite Networks", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 199, October 30, 2022.