

3-메트릭 기반 군 통신망 QoS 구현 사례 및 개선 연구

박 규 동*, 전 호 철*, 이 규 명**, 전 병 천^o

A Study on Implementation and Improvement of Triple-Metric Based QoS for Military Networks

Gyudong Park*, Hocheol Jeon*, Gyu Myoung Lee**, Byungchun Jeon^o

요 약

통신망은 대다수 무기체계들이 의존하는 핵심 기반구조다. 한국군의 경우 체계별 전용 통신망 구축으로 QoS 적용 필요와 요구가 아직까지 높지 않지만, 효율성 향상 등을 위해 전용 통신망 운용에서 공통 통신망 공유로 발전이 요구되므로, 가까운 미래에 QoS 적용이 필수가 될 것이다. QoS는 혼잡 상황에서 기본적으로 우선순위에 따른 차등화 처리를 제공한다. 특히 군 통신망 QoS에서 널리 쓰이는 우선순위 기준으로 성능, 중요도, 긴급도의 3-메트릭이 있다. 이 논문은 3-메트릭을 중심으로 DiffServ 표준, 미군 통신망, 그리고 한국군 통신망에서의 QoS 구현을 분석하여, 한국군 QoS의 선진국 대비 구현 현황과 수준을 진단하고, 특히 전술망을 위한 개선 방안을 제안한다. 그리고 실험을 통해 그에 대한 타당성을 보였다.

키워드 : QoS, 3-메트릭, 성능, 중요도, 긴급도, 전술망

Key Words : QoS, Triple-Metric, Performance, Importance, Urgency, Tactical Networks

ABSTRACT

Most weapon systems depend on the communication networks as an essential infrastructure. Korean military is using dedicated communication networks for each system, therefore there is no or less need for QoS until now. In order to improve efficiency or others, it is required to transform from dedicated communication networks to shared communication networks, and QoS application would be essential for this in near future. Basically, QoS provides differentiated services according to the priority of the traffic in a congested situation. Performance, importance and urgency are priority criteria, so called triple-metric which are used a lot specially in military area. This study investigates and analyzes the QoS implementations of the DiffServ standard, an US military's communication network, and a Korean military's communication network focusing on the triple-metric, and diagnoses the status and level of the Korean military's QoS implementation comparing with the US's, and suggests some improvements specially for the tactical communication networks. And this paper showed that the feasibility of the suggestions based on some experiments.

* First Author : Agency for Defense Development Command and Control Systems PMO, iobject@add.re.kr, 정희원

^o Corresponding Author : Netvision Telecom, bcjeon@netvisiontel.com, 종신회원

** Agency for Defense Development Command and Control Systems PMO, hcjeon71@add.re.kr, 정희원

** Liverpool John Moores University, g.m.lee@ljmu.ac.uk

논문번호 : 202204-052-0-SE, Received February 15, 2022; Revised May 9, 2022; Accepted May 16, 2022

I. 서 론

군 통신망은 대다수 무기체계들이 의존하는 핵심 기반구조다. 한국군은 무기체계별로 상이한 QoS(Quality of Service) 요구를 전용의 통신망을 구축하거나 전용의 대역폭을 할당하여 충족하고 있다. 하지만 이는 비용이 매우 많이 드는 접근이다. 그래서 통신망을 공통 기반구조로서 구축하여 다수 체계가 공유하도록 하는 추세이며^[1], 최근 한국군도 같은 방향의 통신망 발전을 적극 고려하고 있다.

다수의 체계들이 하나의 통신망을 공유하는 경우 체계 간 트래픽 혼잡이 발생할 수 있고, 그 결과 중요하고 긴급한 트래픽의 적시 전달이 어렵거나 불가능해 질 수 있다. 그래서 민간에서는 오버-프로비저닝을 통해 혼잡 발생 자체를 방지하기도 하나^[2] 군에서는 그러한 접근이 제한된다. 군 통신망, 특히 전술망은 SWaP(Size, Weight and Power) 이슈에 매우 민감^[3]하기 때문이다. 그러므로 군 통신망에서는 적절한 QoS 구조와 정책의 적용이 필수적이며, 그래서 저자는 한국군 통신망에 대한 QoS 적용 필요성을 주장한 바 있기도 하다^[4].

QoS는 트래픽 혼잡 상황 대처 솔루션으로서, 트래픽을 우선순위에 따라 차등화 처리한다. 군 통신망에서는 특히 성능, 중요도, 긴급도의 3-메트릭 우선순위 기준 적용이 권고된다^[5]. 성능은 트래픽의 유형에 따라 요구되는 서비스 품질이고, 중요도는 사용자 또는 임무에 따라 부여되는 우선순위이다. 그리고 긴급도는 전달의 시한성과 관련된다.

한편 QoS 구현 접근은 크게 플로우 기반 접근과 클래스 기반 접근으로 구분된다. 그리고 각각의 대표적인 예로 IntServ와 DiffServ가 있다. 플로우 기반 접근은 중요도 기반 차등화 처리를 잘 구현할 수 있고, 클래스 기반 접근은 성능 기반 차등화 처리에 적합하다. 플로우 기반 접근은 우선순위가 높은 플로우의 QoS를 확실하게 보장할 수 있다는 장점이 있으나, 높은 복잡성으로 인해 확장성이 제한되는 단점이 있다^[6]. 그래서 현재 대다수의 QoS 구현들이 DiffServ를 기반으로 하고 있다.

한국군은 군 통신망 구현에서 아직까지는 QoS를 적극적으로 구현하거나 사용하고 있지 않다. 하지만 통신망 발전추세를 고려할 때 가까운 미래에 QoS를 반드시 적용하게 될 것으로 판단된다. 군 통신망 QoS는 무엇보다도 군 통신망의 우선순위 기준인 3-메트릭 기반의 차등화 처리를 잘 구현할 수 있어야 한다. 이 논문은 DiffServ 표준, 선진국 군 통신망, 그리고 한국

군 통신망에서의 QoS 구현 현황을 3-메트릭 중심으로 분석하고, 특히 한국군 전술망에서의 QoS 구현 현황과 수준을 진단하고 문제점을 식별하여, 특히 전술망에서의 개선 방안을 제안한다. 그리고 실험을 통해 그에 대한 타당성을 보였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 기존 QoS 구현 사례와 관련 연구를 조사 및 분석하고, III장은 기존 구현의 개선 방안을 제시하였다. 그리고 IV장에서 실험을 통해 개선 방안의 타당성을 보였고, V장에서 결론 및 성능개선을 위해 향후 차등화 처리 알고리즘 구체화에 대한 향후 계획에 대해 기술했다.

II. 기존 사례 및 관련 연구

2.1 DiffServ 표준

이 논문은 먼저 가장 널리 쓰이는 QoS 접근인 DiffServ 표준을 살펴본다. DiffServ 표준은 트래픽의 유형 또는 QoS 요구 성능을 기준으로 서비스 클래스를 분류하여 서비스 클래스별 차등화 처리를 구현할 수 있게 한다. 이를 위해 DiffServ 표준은 표 1과 같이 총 12개의 서비스 클래스 분류를 제시하고 있다^[7]. 순서는 대체로 QoS 요구 성능의 내림차순이다.

DiffServ 표준에서 트래픽의 서비스 클래스 분류 정보는 IP 패킷 헤더의 ToS(Type of Service) 필드를 통해 DSCP(Differentiated Services Code Point) 코드로서 전달된다. DiffServ 장비는 수신한 트래픽을 서비스 클래스에 따라 적절한 큐에 할당하고, 각 큐는 홉별 행위(PHB)에 따라 트래픽을 처리한다. 가능한 홉별 행위로서 디폴트 포워딩(DF), 보증 포워딩(AF), 신속 포워딩(EF), 그리고 클래스 셀렉터(CS)를 제시하고 있다^[8]. 이러한 DiffServ는 3-메트릭 우선순위 기준 중 하나인 성능 기반 차등화 처리에 매우 적합하다.

표 1. DiffServ 표준 서비스 클래스 목록
Table 1. DiffServ Standard Service Class List.

Network Control
Telephony
Signaling
Multimedia Conferencing
Real-Time Interactive
Multimedia Streaming
Broadcast Video
Low-Latency Data
OAM
High-Throughput Data
Standard
Low-Priority Data

2.2 DoDIN

미국은 군사 기술 분야의 최선진국으로서 항상 다른 국가들의 벤치마킹 대상이 된다. 이 논문 또한 미군의 DoDIN에서의 QoS 구현을 분석하여 참고한다. DoDIN은 주로 안정적인 유선망에 의존하므로, 전술망 QoS 개선 목적의 분석 대상으로서는 적합해 보이지 않을 수 있다. 하지만 DoDIN은 미군의 전군 네트워크로서 연구개발 투자가 우선 집중되고, 다른 네트워크들의 구축과 발전에도 큰 영향을 미치므로, 모든 군 통신망에서의 QoS 구현 및 개선 시 참고 될 필요가 있다. 그리고 타 통신망들에 비해 설계 내용이 비교적 많이 공개되어 있기도 하다. DoDIN은 3-메트릭 기반 차등화 처리를 다음과 같이 구현하고 있다⁹⁾.

2.2.1 성능 기반 차등화 처리

DoDIN은 성능 기반 차등화 처리를 위해 DiffServ를 적용한다. 그리고 트래픽의 서비스 클래스를 표 2와 같이 총 14개로 분류하고 있다.

DiffServ 표준의 12개 분류에 비해서도 2개가 더 많은 14개의 서비스 클래스 분류는 상당히 복잡하고 정교한 QoS 구현을 가능하게 한다. 복잡하고 정교한 QoS 구현은 안정적인 유선망을 기반으로 하는 DoDIN의 경우라면 가능할 수 있지만, 매우 한정되고 불안정한 군 통신망, 특히 전술망 환경에서도 그러한 QoS 구현이 과연 적합할 것인지에 대해서는 재고가 필요하다.

CISCO를 비롯한 전문 업체들 또한 안정적인 상용망의 QoS 구현을 위해서도 그들의 기술 문서¹⁰⁾ 등을

통해 “4개 이하의 클래스를 사용하여 정책을 단순화”할 것을 권고하고 있다. 복잡한 처리는 지연의 원인이 될 수 있고, 정교한 처리는 불안정한 환경에서는 의미가 없을 수 있다. 그래서 복잡하고 정교한 QoS 구현은 차량 또는 건물 내부와 같이 규모가 작고 안정적인 통신망 환경에서 주로 적용되고 있다¹¹⁾.

DiffServ의 통상적인 구현은 각각의 서비스 클래스를 각기 다른 큐에 할당하여 처리하는 것이다. 그런데 DiffServ 장비들은 일반적으로 8개의 큐를 제공한다. 그래서 서비스 클래스 수가 그보다 많다면, 서비스 클래스들이 큐를 공유해야 한다. DoDIN은 장비에 따라 4개 또는 6개 큐를 사용하며, 다수의 서비스 클래스들을 같은 큐에 할당하여 처리한다. 이로 인해 큐별로 특별한 처리가 없다면 서비스 클래스를 상세히 분류한 의미가 없게 되고, 큐별로 복잡한 처리를 추가하면 QoS 성능에 악영향을 미칠 수 있다.

2.2.2 중요도 기반 차등화 처리

DoDIN은 특히 음성통화와 화상회의 트래픽에 대하여 중요도 기반 차등화 처리를 할 수 있도록 추가 메커니즘을 적용한다. 만약 더 중요한 음성통화 또는 화상회의가 그렇지 못한 음성통화 또는 화상회의에 의해 방해받는다면 특히 군사 분야에서는 상당한 문제가 될 수 있기 때문이다.

DoDIN은 DiffServ 표준과 비교하여 음성통화 서비스 클래스와 화상회의의 서비스 클래스를 보증과 비-보증으로 추가 분류하고 있다. 보증 음성통화와 비-보증 음성통화는 동일한 성능 요구를 가지며, 보증 화상회의와 비-보증 화상회의의 또한 그러하다. 따라서 이는 성능 요구에 따른 구분이 아니라 중요도에 따른 구분으로 보는 것이 타당하다. 즉 DoDIN의 서비스 클래스 분류는 성능뿐만 아니라 중요도를 추가로 반영하고 있다.

DoDIN은 다른 방식으로 중요도 기준을 한 번 더 적용한다. DoDIN은 DSCP 코드에 서비스 클래스 분류와 함께 트래픽의 중요도 수준을 추가로 부여하여 차등화 처리 기준으로서 활용한다. 예를 들어 특히 보증 음성 통화 또는 화상 회의 트래픽의 경우 비-보증 트래픽과 다른 큐에 할당하고 외부 세션 제어를 활용하여 중요도 기반의 수락제어와 선점을 추가로 수행한다. 높은 중요도의 트래픽이 도착했을 때 가용 대역폭이 없다면 그 보다 낮은 중요도를 가진 트래픽의 대역폭을 회수하여 신규 트래픽에 할당하는 방식이다. 하지만 외부 제어기와의 연결이 끊어졌을 때 정상 동작이 제한될 수 있다는 것은 큰 단점이다. DoDIN의

표 2. DoDIN 서비스 클래스 목록
Table 2. DoDIN Service Class List.

Aggregated Service Class	Granular Service Class
Network Control	Network Signaling
	User Signaling
Inelastic Real-Time	Short Message
	Assured Voice
	Non-Assured Voice
	Assured Multimedia Conferencing
	Non-Assured Multimedia Conferencing
	Broadcast Video
Preferred Elastic	Multimedia Streaming
	Low-Latency Data
	High Throughput Data
	OA&M
Elastic	Best Effort
	Low Priority Data

경우 안정적인 유선망을 기반으로 하여 망 단절 위험이 적고, 이중화를 통해 그 위험을 더욱 낮추고 있지만, 전술망의 경우에는 망 단절 위험이 매우 높고, 그 위험을 낮추기 위한 솔루션의 적용 또한 크게 제한된다.

미군은 음성통화에 대하여 표 3과 같은 기준으로 사용자 또는 임무에 대하여 내림차순 중요도 우선순위를 부여하고 있다¹²⁾. 그리고 이 기준은 음성통화뿐만 아니라 화상회의 등에 대해서도 적용 가능하다.

미군은 데이터 트래픽에 대해서는 표 4와 같은 내림차순 우선순위 기준을 가지고 있다¹³⁾. 하나의 구현에서 여러 기준을 적용하는 것은 구현을 복잡하게 하여 바람직하지 못하다. 그리고 미군은 중요도 기준을 서비스 클래스 분류 시와 서비스 클래스별 차등화 처리 시에 중복 적용하고 있다. 하지만 동일 또는 유사 기준을 여러 번 적용하여 다르게 처리하는 것은 효율성, 일관성, 직관성 등 여러 측면에서 그다지 바람직하지 못하다. 투자가 중복되고, 각각의 구현 간 상승과 감쇄가 일어날 수 있고, 그래서 그 결과를 예측하기가 어렵다.

표 3. 미군 음성통화 우선순위 수준
Table 3. US Military Telephony Traffic Precedence.

Level	Criterion
Flash Override(FO)	Commander
Flash(F)	Survival related
Immediate(I)	Security related
Priority(P)	Requiring expeditious action
Routine(R)	Government communication

표 4. DoD IER 우선순위 수준
Table 4. DoD IER Precedence.

Level	Criterion/Example
Category 1 Mission Critical	Commander/Emergency
Category 2 Mission Critical	Operation Supporting
Category 3 Mission Critical	Information Exchange
Mission Critical	-
Mission Support	Logistics, Transportation, Medical
Administrative	Personnel, Pay, Training

* IER : Information Exchange Requirements

2.2.3 긴급도 기반 차등화 처리

DoDIN은 QoS 구현에서 긴급도를 사용하지 않고 있지 않다. 대부분의 QoS는 높은 성능을 요구하는 실시간 멀티미디어 트래픽에 초점을 맞추는데, 이들 트래픽은 모두 같은 수준의 저-지연 성능 또는 긴급도를

요구하기 때문이다. 즉 긴급도를 차등화 부여하는 것이 불가능하여 긴급도에 의한 차등화 처리가 의미가 없다.

반면에 실시간 또는 저-지연 외 트래픽의 경우 시한성, 즉 전달 시한 또는 유효 기간을 의미 있는 수준으로 다르게 가지는 것이 가능하다. 하지만 안정적인 유선망에서는 대부분 부여된 전달 시한 또는 유효 기간 내에 전달 가능하므로, 시한성에 의한 차등화 처리가 필요 없을 수 있다. 하지만 불안정한 전술망에서는 시한성을 충족시키지 못하는 상황이 빈번하게 발생할 수 있다.

이상과 같이 DoDIN은 3-메트릭 중 성능과 중요도 우선순위 기준을 적용하여 QoS를 구현하고 있으나, 긴급도에 대한 적용 필요와 요구, 그리고 그에 따른 구현은 아직 없는 것으로 판단된다. 그리고 14개 서비스 클래스 분류와 원격 세션 제어기에 의존한 QoS 구현은 안정적인 유선망을 기반으로 하기에 가능하며, 불안정한 전술망에서라면 제한될 수 있다.

2.3 TICN

저자는 한국군 통신망, 특히 전술망에서의 QoS 발전에 관심이 있다. 고정망에 비해 트래픽 혼잡 발생 위험이 더 높기 때문이다. 그래서 저자는 이 논문에서 한국군의 대표적인 전술망인 TICN에서의 3-메트릭 기반 QoS 구현 현황을 분석하고 진단한다.

2.3.1 성능 기반 차등화 처리

TICN 또한 DiffServ를 통해 성능 기반 차등화 처리를 구현하고 있다. 그리고 TICN은 서비스 클래스를 표 5와 같이 총 16개로 분류하고, DSCP와 PHB를 할당하고 있다¹⁴⁾. 순서는 역시 요구 성능의 내림차순이다.

TICN의 서비스 클래스 분류에서 다수의 서비스 클래스가 동일한 DSCP 코드를 가진다는 점이 주목된다. DiffServ 표준은 DSCP 코드에 따라 서비스 클래스를 분류하기 때문이다. 그래서 TICN의 16개 서비스 클래스 분류는 사실상 8개 서비스 클래스 분류로 보는 것이 타당하다.

2.3.2 중요도 기반 차등화 처리

TICN 또한 DoDIN과 마찬가지로 일부 서비스 클래스 분류에 중요도를 추가로 고려하고 있다. 음성 트래픽을 1~2 수준과 3~5 수준으로 추가 분류한 것이 그 예이다. 하지만 미군 또는 DoDIN과 달리 중요도 우선순위를 명시적으로 고려한 차등화 처리는 추가로

표 5. TICN 서비스 클래스 목록
Table 5. TICN Service Class List.

Service Class	DSCP/PHB
Voice(Telephony, Conferencing)(1,2 Level)	46/EF
Simultaneously Command	
Hot-line	
Short Message(1, 2 Level)	
Voice(Telephony, Conferencing)(3-5 Level)	40/CS5
Routing Control Message	48/CS6
SNMP Message	24/CS3
Video(Telephony, Conferencing)	34/AF41
Telephony Control Message(1-4 Level)	36/AF42
Short Message(3, 4 Level)	
Check Available Telephony(1-4 Level)	
External Interfacing Terminal Traffic	38/AF43
Telephony Control Message(5 Level)	0/BE
Short Message(5 Level)	
Check Available Telephony(5 Level)	
Best Effort	

구현하고 있지 않다. 그에 필요한 중요도 분류가 DSCP 코드에 반영되어 있지 않다.

2.3.3 긴급도 기반 차등화 처리

TICN 또한 DoDIN과 마찬가지로 긴급도를 고려한 추가적인 차등화 처리를 구현하고 있지 않다. 안정적인 유선망에 주로 의존하는 DoDIN의 QoS와 달리 TICN의 QoS는 불안정한 전술망에서 동작하고 있음에도 그러하다. 한국군은 아직 트래픽에 대한 전달 시한 또는 유효 기반 부여와 그에 따른 처리의 필요성을 인식하고 있지 않은 것이다.

상기와 같이 TICN은 DiffServ를 통해 QoS의 성능과 중요도 기반의 차등화 처리 구현을 의도하고 있다. 하지만 그 기능과 수준이 DoDIN에 비해 부족하고, 전술망 특성에 대한 추가 고려가 없다. 그리고 긴급도에 대한 고려 또한 하고 있지 않다. 서론에서 언급하였듯이 한국군의 통신망 운용개념은 체계별 전용 통신망 구축 또는 전용 대역폭 할당 운용이므로, QoS를 적용할 필요가 없거나 크지 않았고, 운용 경험 또한 많지 않았던 것이 그 원인인 것으로 판단된다.

2.4 관련 연구

통신 기술의 발전과 함께 QoS 기술 또한 지속 발전되고 있다. 5G 등의 출현과 함께 QoS 관련하여 최근 가장 주목 받고 있는 기술로는, TSN(Time

Sensitive Networking), DetNet(Deterministic Networking), 그리고 네트워크 슬라이싱 등이 있다. TSN과 DetNet은 표준화 기구, 적용 계층 등이 상이하지만 사실상 같은 기술이다. 이들은 IntServ의 장점인 제한된 지연의 보장을 시간 동기화를 기반으로 제공한다¹⁵⁾. 그리고 네트워크 슬라이싱은 SDN(Software Defined Networking), NFV(Network Function Virtualization) 등을 바탕으로 특정 응용, 임무 또는 요구 등의 트래픽에 대하여 전용의 슬라이스를 할당하여 전용의 QoS를 제공하는 것을 목적으로 한다¹⁶⁾. 하지만 이들 모두는 매우 안정적인 통신망에서 제대로 동작 가능하므로, 전술망에 그대로 적용되는 것은 매우 제한되어, 전술망 적용을 위한 커스터마이징 연구들이 수행되고 있다^{17,18)}.

한편 차기 MBcN(Military Broadband - convergence Network), TICN 성능개량 등의 요구 및 추진과 병행하여, 한국군 통신망 QoS 관련 연구 또한 많지는 않으나 군 관련 연구소들을 중심으로 꾸준히 수행되고 있다. 군으로부터 한국군 통신망에 대하여 QoS, 제어 중앙화 등 다양한 요구들이 제시되고 있으며, 그 구현을 위하여 MPLS(Multi Protocol Label Switching), SDN 등 다양한 기술들이 가용하다. 그리고 그 요구와 기술 간 연결 제시 연구가 수행되었다¹⁹⁾. 그러나 군의 관심 사항에 대한 미군의 구현 사례를 소개하는 수준으로서 충분한 논리적 근거를 함께 제시하지는 못했다. 그리고 한국군 전술망 발전을 목적으로 5G 적용을 제안하거나²⁰⁾, SDN과 네트워크 슬라이싱 기술을 적용하여 DiffServ의 중요도와 긴급도 기반 차등화 처리 능력 미흡 문제를 해결하고자 하는 연구도 있었다²¹⁾. 이들은 최신 기술을 적용함으로써 얻을 수 있는 이점을 소개하고, 구조 또는 방법을 제안하였지만, 전술망 특성에 따른 문제점들의 극복 방안은 함께 제시하지 못했다.

3-메트릭은 DoDIN의 전신인 GIG(Global Information Grid)에 대하여 권고⁵⁾되고 적용되었으며, 이후 군 통신망 QoS 구현을 위한 대표적인 우선순위 기준으로서 지금까지도 널리 인용 및 적용되고 있다. 그리고 3-메트릭 우선순위 기준 모두를 DiffServ 서비스 클래스 분류를 통해서 지원하고자 하는 시도도 있었다²²⁾. 6개 서비스 클래스 분류를 제시하고, 다양한 응용 트래픽을 3-메트릭 관련 특징에 따라 적절한 서비스 클래스에 매핑하는 방법을 함께 제시하였다. 하지만 제시된 서비스 클래스 분류로는 모든 종류의 트래픽 처리가 제한되고, 트래픽 특징을 복잡하게 고려한 후, 6종으로 분류하여 단순하게 처리하는 방식으로

서 한계가 있었다.

반면에 이 논문은 QoS의 기본인 우선순위 기반 차등화 처리에서 특히 우선순위 기준 자체에 초점을 맞춰 3-메트릭을 중심으로 다른 선진국 군의 구현 대비 한국군의 구현 현황과 수준을 진단하고, 전송망 특성을 고려하여 3-메트릭의 성능, 중요도, 긴급도 기반 트래픽 차등화 처리 개선 방안 또는 방향을 구체적으로 제안한다.

III. 한국군 전송망 QoS 개선 방안

이 논문은 한국군 전송망 QoS의 3-메트릭, 즉 성능, 중요도, 긴급도별 트래픽 차등화 처리 구현의 문제점 해결과 수준 향상을 위한 개선 방안을 다음과 같이 제안한다.

3.1 성능 기반 차등화 처리 개선

DoDIN과 TICN은 성능 기반 차등화 처리를 DiffServ를 통해 구현하고 있다. DiffServ는 또 다른 접근인 IntServ에 비해 매우 복잡성이 낮고 확장성이 뛰어나기 때문에 군 통신망의 QoS 구현 접근으로서 적합하다. 그리고 DoDIN과 TICN은 각각 DiffServ 서비스 클래스를 14개와 16개로 분류하여 DiffServ 표준의 12개에 비해 더 세분화하고 있다. 세분화된 서비스 클래스 분류는 더욱 복잡하고 정교한 처리를 가능하게 한다.

DiffServ는 서비스 클래스에 따라 트래픽을 각각 다른 큐에 할당하고, 각 큐는 트래픽 엔지니어링을 통해 할당받은 대역폭 자원을 활용하여 자신의 트래픽을 처리한다. 만약 서비스 클래스의 수가 큐의 수보다 많으면 여러 서비스 클래스들을 같은 큐에 할당하여

야 한다. 그러나 큐에서의 특별한 처리가 없다면, 서비스 클래스를 세분화한 의미가 없게 된다. 물론 앞으로의 구현을 위한 예비적 분류로서의 의미는 가질 수 있다.

안정적인 우선망을 기반으로 하는 DoDIN과 달리 불안정한 군 통신망, 특히 전송망에서는 복잡하고 정교한 처리가 의미가 없을 수 있다. 심지어 안정적인 상용망에서도 4개 이하의 서비스 클래스 분류가 권고되고 있기도 하다. 그래서 이 논문에서는 성능 요구가 비슷한 서비스 클래스들을 최대한 통합하였다. 또한 통상적인 네트워크 장비가 8개의 큐를 제공하므로, 단순한 처리를 위해 그 이하의 서비스 클래스 분류가 바람직하다. 이 논문에서는 DiffServ 표준의 12개 서비스 클래스의 4개 서비스 클래스 통합을 표 6과 같이 제안한다. DoDIN과 TICN의 서비스 클래스 분류 또한 DiffServ 표준을 기반으로 중요도를 추가 반영하여 더욱 세분화한 것으로, 마찬가지로 방법과 결과로 통합 가능하다.

제어(Control) 서비스 클래스는 네트워크 및 응용의 원활한 운용을 위한 트래픽 처리를 목적으로 하기 때문에 이 클래스의 모든 트래픽은 요구 QoS 성능을 보장받아야 한다. 실시간 멀티미디어(Real-time Multimedia) 서비스 클래스는 손실, 지연, 지연변이 등 모든 QoS 성능 요구가 높은 트래픽 처리를 목적으로 식별하였다. 그리고 저-지연 데이터(Low-Latency Data) 서비스 클래스는 특히 손실 성능 또는 신뢰성 요구가 높은 트래픽 처리를 목적으로 식별하였으며, 이는 상황보고와 같이 신뢰성을 반드시 충족하여야 하는 응용이 다수 존재하는 군사 분야의 특성을 고려한 것이다. 이러한 실시간 멀티미디어 서비스 클래스와 저-지연 데이터 서비스 클래스의 트래픽들은 트래픽 간 혼잡 발생 시 중요도가 높은 순으로 요구 QoS 성능을 보장받아야 한다. 끝으로 나머지 모든 트래픽 처리를 위하여 최선노력(Best Effort) 서비스 클래스를 식별하였다.

표 6. 서비스 클래스 통합
Table 6. Service Classes Integration.

DiffServ Std.	Proposed
Network Control OAM Signaling	Control
Telephony Multimedia Conferencing Multimedia Streaming Broadcast Video	Real-time Multimedia
Real-Time Interactive Low-Latency Data	Low-Latency Data
High-Throughput Data Standard Low-Priority Data	Best Effort

표 7. 개선 서비스 클래스 목록
Table 7. Improved Service Class List.

Service Class	Examples	Note
Control	Network Control	-
Real-time Multimedia	Telephony, Conferencing	Inelastic
Low-Latency Data	Chatting, Messenger, Web Application	Elastic
Best Effort	Others	Elastic

통합된 서비스 클래스들을 예제 및 특성과 함께 다시 정리하면 표 7과 같다. 제안 분류는 서비스 클래스의 수를 기존 DiffServ 표준의 12개, DoDIN의 14개, 그리고 TICN의 16개 대비 4개로 크게 줄인 것이다. 통상적인 네트워크 장비가 8개의 큐를 제공하므로, 4개의 서비스 클래스를 각기 다른 큐에 할당하여 단순하게 처리하는 것이 가능하다. 또한 나머지 큐는 다른 용도로 활용할 수 있게 된다.

3.2 중요도 기반 차등화 처리 개선

군사 분야에서 사용자 또는 임무에 따른 차등화 처리는 매우 중요하다. DoDIN과 TICN의 경우 서비스 클래스 분류 시에도 중요도를 일부 반영하였으나, 이 논문에서는 서비스 클래스별 차등화 처리 시에서만 중요도를 고려하는 개선을 제안한다. 제안하는 개선은 앞서 사례 분석을 통해 지적한 DoDIN의 동일 기준의 처리를 다른 방법으로 2회 수행하여 발생하였던 효율성, 일관성, 직관성 저하 문제를 상당히 해소할 수 있다.

또한 이 논문은 미군이 음성통신과 데이터 각각에 대하여 상이한 중요도 기준을 가지고 있으며, 이것이 구현을 복잡하게 만들 수 있다는 것을 언급했다. 이 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 모든 트래픽 유형에 동일하게 적용 가능하도록 개선한 단일 중요도 분류 기준을 표 8과 같이 제안한다. 트래픽 유형별로 다른 중요도 기준을 가지는 경우 각기 다른 처리를 구현하거나 변환 과정을 추가로 요구하여 구현을 복잡하게 만들고 효율을 저하시킬 수 있다. 이 논문에서 제안하는 단일 중요도 기준은 모든 유형의 트래픽에 공통 적용 가능하여 구현 복잡도 증가 및 효율성 저하의 문제가 발생하지 않도록 한다.

추가로 이 논문에서는 구현 복잡도를 줄이기 위해 중요도 수준을 4개로 줄였다. DoDIN의 음성 통신을 위한 중요도 기준으로서 포함되었던 ‘신속한 처리가 필요한 P 중요도’는 기존의 I(Immediate) 중요도와 매우 유사하기 때문에, P 중요도를 I 중요도에 통합하였다. 물론 중요도 수준을 어떻게, 얼마나 구분할 것인가는 군이 스스로의 운용개념에 따라 결정하여야 한다.

표 8. 개선 중요도 수준
Table 8. Improved Precedence.

Level	Telephony/Conferencing	Data
FO	Commander	Commander/Emergency
F	Survival related	Operation Supporting
I	Security related	Mission Supporting
R	Official	Administrative

표 9. 서비스 클래스 및 중요도별 DSCP 할당
Table 9. DSCP Allocation by Importance & Service Class.

Service Class	Precedence	DSCP
Control	FO	110000(48)
Real-time Multimedia	FO, F, I, R	100010(34) 100011(35) 100101(37) 101111(39)
Low-Latency Data	FO, F, I, R	011010(26) 011011(27) 011101(29) 011111(31)
Best Effort	FO, F, I, R	000000(0) 000001(1) 000011(3) 000101(5)

다. 다만 이 논문은 군 통신망의 불안정성을 고려하여 보다 단순화된 중요도 구분을 권고 수준에서 제안하는 것이다. 군 통신망의 불안정성을 고려할 때 복잡하고 정교한 처리가 무의미할 수 있으며, 효율성 향상을 위해서도 가급적 적은 수의 중요도 구분을 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 그리고 이 논문은 트래픽 중요도를 DoDIN과 마찬가지로 DSCP 코드로써 서비스 클래스 분류와 함께 기록 및 전달한다. 그리고 그에 필요한 DSCP 코드를 표 9와 같이 제안한다.

한편 DoDIN은 중요도 기반 수락제어와 선점 수행을 위해 외부 세션 제어기를 활용하고 있으나, 이 논문에서는 전술망 특성을 고려한 보다 현실적인 대안으로서 외부 세션 제어기에 의존하지 않는 장비 차원의 중요도 기반 차등화 처리 구현을 제안한다. 매우 한정되고 불안정한 군 통신망, 특히 전술망에서 원격의 외부 장비에 대한 의존성은 없애거나 최소화하는 것이 바람직하다. 외부 장비와의 망 단절 위험이 크고, 망 단절 시 정상 동작이 크게 제한될 수 있기 때문이다. 단 원격 제어기에 의존하지 않는 독자적인 중요도 기반 트래픽 차등화 처리의 구체적 방법은 그 자체로서 새로운 연구 주제가 될 수 있기 때문에 이 논문의 범위에서 제외한다.

3.3 긴급도 기반 차등화 처리 개선

TICN은 물론이고 DoDIN 또한 긴급도를 명시적으로 사용하고 있지 않다. 하지만 이 논문에서는 일부 트래픽의 경우 전달 시한을 가지며, 시한 경과 후에는 전달하는 것이 의미가 없고 자원만 낭비할 수 있다는 점에 주목한다. 주기적으로 갱신되는 트랙 위치 정보

표 10. DoDIN, TICN, 제안 QoS 비교
Table 10. QoS Comparison btw. DoDIN, TICN, Proposed.

-	DoDIN	TICN	Proposed
Service Class	14	16	4
	Importance considered		
Importance Level	5/6	-	4
Admission Control	Session Controller	-	Device
Urgency	-	-	Use

등이 그 예가 될 수 있다.

망 단절 또는 대역폭 저하 상황이 빈번하게 발생할 수 있는 전술망에서는 전달 시한 또는 유효 기간을 넘긴 트래픽이 상당히 많이 발생할 수 있다. 그러한 트래픽을 전송하지 않고 드롭(drop)하는 것만으로도 네트워크 자원 낭비를 막을 수 있다. 이 논문은 전달 시한 또는 유효 기간을 의미 있는 수준으로 다르게 부여할 수 있는 트래픽에 대하여 긴급도 기반의 차등화 처리를 적용할 것을 제안한다. 단 그에 대한 구체적인 구현 방법은 중요도 기반 차등화 처리 구현 방법과 같은 이유로 이 논문의 범위에서 제외한다.

제안 QoS 개선 방안과 DoDIN과 TICN에서의 QoS 구현의 비교를 요약하면 표 10과 같다. 이 논문은 현 한국군 전술망 QoS 구현이 전술망 특성에 대한 고려와 3-메트릭 기반 차등화 처리가 상당히 부족한 수준으로 판단하고, DoDIN의 QoS 구현을 참조하되 전술망 특성을 고려하여 단순화, 효율화 방향의 개선을 제안하였다. 서비스 클래스의 수를 크게 줄이고, 중요도 기준을 정비하였으며, 중요도 기반 차등화 처리를 외부 제어기에 의존하지 않는 장비 차원의 구현으로 개선하였다. 그리고 DoDIN과 TICN에서는 사용하지 않고 있는 긴급도의 사용과 사용 방법을 아이다어 수준으로 제시하였다.

IV. 실험

이 논문은 제안한 성능 기반 차등화 개선 또는 서비스 클래스 분류 개선의 타당성을 확인하기 위해 실험을 수행하였다. 그리고 방향성 수준으로 제시한 중요도 및 긴급도 기반 차등화 개선에 대해서는 후속 연구를 통해 알고리즘을 포함하여 더욱 구체화 발전시킬 예정으로, 이 논문 범위에서는 제외한다.

이 논문에서는 대표적인 M&S 도구인 리버베드 모

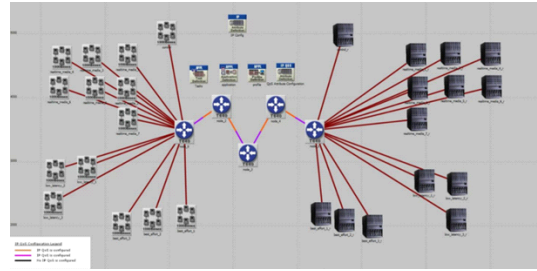


그림 1. 제안 기법 적용 네트워크 구조도 (DoDIN과 동일 구조)
Fig. 1. Network architecture of the proposed scheme (The same architecture with DoDIN)

델러를 활용하여, DoDIN의 서비스 클래스 분류와 제안 서비스 클래스 분류의 성능을 비교 실험하였다. 그림 1은 이 실험을 위해 사용한 네트워크 구조도를 보여준다.

DoDIN과 제안 기법에 대하여 모두 동일한 네트워크 구성으로 총 14가지 서로 다른 트래픽 모델이 적용된 클라이언트와 서버로 구성되며 3개의 중계 노드를 거치는 구조를 사용하였다. 클라이언트의 경우 표 11과 같이 각 클래스별로 다른 가중치와 사이즈를 가지고 있으며 전체 1,000패킷 사이즈를 갖는 물리적인 큐를 가진 트래픽 QoS 모델을 구성하였다.

서버의 경우에는 양방향 트래픽 발생 모델을 구성하여 10,000bytes 사이즈의 프레임을 랜덤하게 생성하도록 하였다. 차등 서비스가 적용된 트래픽 발생 및 큐 구성 모델을 통해 입출력 스트림의 부하를 80% (190-290 frames/sec)에서 최대 120% (305-405 frames/sec)까지 달리하면서 성능 변화를 관찰하였다.

실험 결과 DoDIN의 14개 서비스 분류와 이 연구

표 11. 클라이언트의 트래픽 QoS 모델
Table 11. Traffic QoS model of clients.

DoDIN		Proposed	
1 control queue	weight 50 size 300	1 control queue	weight 50 size 300
7 real-time media queue	weight 14 size 300 for each queue	1 real-time queue	weight 100 size 2100
3 low latency queue	weight 10 size 300 for each	1 low latency queue	weight 30 size 900
3 best effort queue	weight 6 size 300 for each	1 best effort queue	weight 18 size 900
total queue size: 1000 packets		total queue size: 1000 packets	

의 4개 서비스 분류는 다양한 부하 조건에서 전체적으로 유사한 처리량 성능을 보였다. 그림 2와 그림 3은 그 중 일부 결과를 발췌한 것이다. 그림 2는 80% 부하에서 처리량을, 그림 3은 120% 부하에서 DoDIN과 제안방식의 처리량 성능 차이를 나타낸 것으로, 80% 부하에서는 거의 성능 차이가 없으며, 120%로 부하를 증가했을 때 약간의 성능 차이를 확인할 수 있는 수준이다. 이 결과로부터 일반적인 네트워크 환경의 처리량에서 두 방식의 차이가 거의 없음을 알 수 있었다.

동일 또는 유사 서비스 클래스들 간 비교에서도 지연, 지연변이, 손실 각각에 대하여 유사하거나 일부 더 나은 성능을 보였다. 그리고 두 방식 모두에서 지연과 지연변이가 유사한 성능 변화를 보임에 따라, 지연 및 손실에 대한 실험 결과 일부를 그림 4, 그림 5, 그림 6과 같이 제시하였다.

지연 측면에서 제어 트래픽과 저-지연 트래픽의 경우 두 방식 간 성능 변화 차이가 거의 없는 관계로 실시간 미디어의 100% 부하 시의 지연 성능 비교를 그림 4에, 최선 노력의 100% 부하 시의 지연 성능 비교를 그림 5에 제시하였다. 이를 통해 약간의 성능 차이를 확인할 수 있다. 또한 손실 측면에서 대부분의 서비스 클래스 간 성능이 거의 유사함을 알 수 있었고, 그림 6에서 제시한 것처럼 최선 노력의 경우에서만

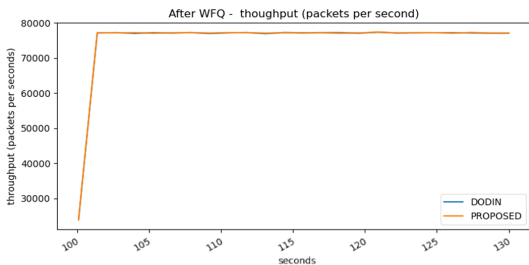


그림 2. 80% 부하 시 처리량 비교
Fig. 2. Throughput comparison at 80% load

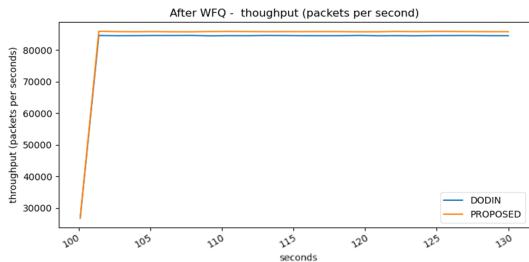


그림 3. 120% 부하 시 처리량 비교
Fig. 3. Throughput comparison at 120% load

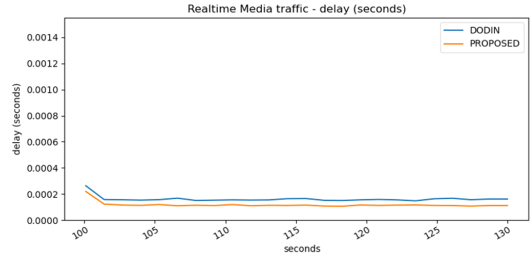


그림 4. 100% 부하 시 실시간 미디어의 지연 비교
Fig. 4. Delay comparison of realtime media at 100% load

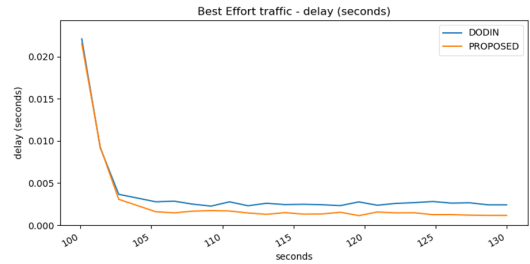


그림 5. 100% 부하 시 최선 노력의 지연 비교
Fig. 5. Delay comparison of best effort at 100% load

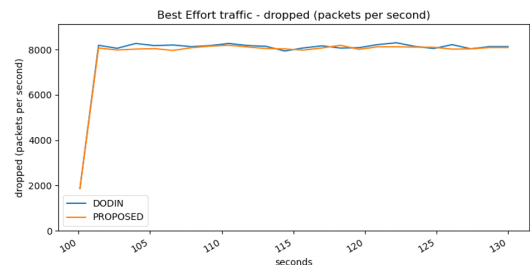


그림 6. 100% 부하 시 최선 노력의 손실 패킷 비교
Fig. 6. Dropped packets comparison of best effort at 100% load

약간의 성능 차이를 확인할 수 있었다.

실험 결과를 요약하면 DoDIN의 14개 클래스 분류와 이 연구의 4개 클래스 분류는 동일 조건 하에서 성능의 차이가 없이 거의 유사하거나 일부 더 나은 성능을 보였다.

V. 결론

체계 개발 및 발전에는 첨단 기술 보다는 적합한 기술의 선택과 적용이 필요하다. 물론 첨단 기술이 적합한 기술일 수도 있다. 그리고 적합한 기술을 선택하려면 필요, 요구, 기술과 환경에 대한 정확한 이해가 선행되어야 한다. 그래서 이 논문은 QoS의 기본인 우선순위 기반 차등화에 초점을 맞춰, 군 통신망에서의

우선순위 기준인 성능, 중요도, 긴급도의 3-메트릭을 중심으로 DiffServ 표준, 미군의 QoS, 그리고 우리 군의 QoS 구현 현황을 분석하였다. 그리고 우리 군 전술망의 QoS 구현 수준이 선진국 대비 상당히 부족한 수준이며, 무엇보다도 전술망의 특성과 3-메트릭에 대한 고려가 높지 않은 것으로 판단하였다. 그래서 이 논문은 전술망 특성을 고려하여 성능 기반 차등화 처리를 위한 서비스 클래스를 단순화하고, 중요도 기반 차등화 처리를 자율화하는 방향의 개선을 제안하였다. 추가로, 권고되나 적용되지 않았던 긴급도 기반 차등화 처리가 전술망에서는 매우 필요할 수 있음에 주목하고, 전달 시한 또는 유효 시간이 경과한 트래픽의 드롭하는 등의 개선 아이디어를 제안하였다.

이 연구의 기여는 군 통신망 QoS 구현의 기본인 3-메트릭 지원 중요성에 대한 주의를 환기하고, 전술망 특성을 고려한 단순화, 자율화 방향의 개선을 제안하고, 그와 관련된 여러 기준들에 대한 정제 또는 정제 방향을 제안한 것이다. 추가로 이 연구는 후속 연구 주제들을 식별하였으며, 저자는 해당 연구의 수행을 통해 이 논문에서 방향 또는 아이디어 수준으로 제시하였던 중요도 및 긴급도 기반의 차등화 처리 개선을 알고리즘 수준으로 구체화할 예정이다.

References

- [1] S. Raghavan, *Integrated digital infrastructure*, Springer, CSIT, Mar. 2020
- [2] M. Perumal and C. Selvi, "Improved priority aware mechanism for enhancing QoS in MANET," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 122, no. 1, pp. 277-292, 2022.
- [3] D. Kafetzis, S. Vassilaras, G. Vardoulis, and I. Koutsopoulos, "Software-defined networking meets software-defined radio in mobile ad hoc networks: State of the art and future directions," *IEEE Access*, 2022.
- [4] G. Park, G. Lee, B. Roh, E. Kim, and D. Ryu, "A study on integrated structure and QoS policy for heterogeneous military transports," *J. KICS*, vol. 45, no. 2, Feb. 2020.
- [5] Y. Xue, C. Gedo, C. Christou, and B. Liebowitz, "A framework for Military precedence-based assured services in GIG IP networks," *IEEE MILCOM*, 2007.
- [6] L. Liu, J. Zhou, H. Xing, and X. Guo, "A stepwise path selection scheme based on multiple qos parameters evaluation in SDN," in *Int. Conf. Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing*, Springer, Cham, pp. 498-519, 2021.
- [7] J. Babiarz, K. Chan, and F. Baker, RFC 4594, *Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes*, IETF Network Working Group, Aug. 2006.
- [8] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, and D. Black, RFC 2474, *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*, IETF Network Working Group, Dec. 1998.
- [9] *Unified Capabilities Requirements*, DoD, 2013.
- [10] *Quality of Service Implementation*, CISCO.
- [11] A. A. Syed, S. Ayaz, T. Leinmuller, and M. Chandra, "Dynamic scheduling and routing for TSN based in-vehicle networks," *IEEE*, 2021.
- [12] CJCSI 6211.02D, *Defense Information Systems Network (DISN) Responsibilities*, JCS J-6, Jan. 2015.
- [13] *DoD Architecture Framework 1.5*, DoD, Apr. 2007.
- [14] E. Choi, B. Lim, J. Kim, Y. Kim, H. Choi, B. Kim, and S. Nam, "A study on measures to ensure the information exchange between weapon systems on the All-IP tactical network," Ajou Univ., 2014.
- [15] L. Deng, G. Xie, H. Liu, Y. Han, R. Li, and K. Li, "A survey of real-time ethernet modeling and design methodologies: From AVB to TSN," *ACM Comput. Surv.*, vol. 55, no. 2, Article 31, Jan. 2022.
- [16] A. Esmacily, K. Kravlevska, and D. Gligorosk, "A cloud-based SDN/NFV testbed for end-to-end network slicing in 4G/5G," *2020 6th IEEE Conf. NetSoft*, pp. 29-35, 2020.
- [17] S. M. Eswarappa, P. H. L. Rettore, J. Loevenich, P. Sevenich, and R. R. F. Lopes, "Towards adaptive QoS in SDN-enabled heterogeneous tactical networks," *2021 ICMCIS*, pp. 1-8, Netherlands, 2021.
- [18] S. Khan and F. K. Hussain, "Software-defined overlay network implementation and its use

for interoperable mission network in military communications,” *Int. Conf. AINA 2022*, pp. 554-565, 2022.

- [19] D. Park, D. Oh, E. Choi, and J. Lim, “A network QoS model for joint integrated C4I structure,” *J. KIMST*, vol. 23, no. 2, pp. 106-114, 2020.
- [20] D. Oh, D. Han, and J. Lee, “A plan for future battalion tactical network with 5G network,” *J. Digital Contents Soc.*, vol. 22, no. 3, pp. 537-545, 2021.
- [21] Y. Kim, N. An, J. Park, C. Park, and H. Lim, “Multi-layer network virtualization for qos provisioning in tactical networks,” *J. KIMST*, vol. 21, no. 4, pp. 497-507, 2018.
- [22] G. Choi, B. Kim, and B. Roh, “Classification of traffic classes for application services in military communication networks,” *J. KICS*, vol. 37, no. 1C, pp. 76-88, Feb. 2012.

박 규 동 (Gyudong Park)



1994년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업
 1996년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사
 2014년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사
 1996년 1월~1998년 12월 : 국

방정보체계연구소 연구원
 1999년 1월~현재 : 국방과학연구소 연구원
 <관심분야> 상호운용성, 네트워크, 인공지능, 보안
 [ORCID:0000-0001-7484-5426]

전 호 철 (Hocheol Jeon)



2011년 2월 : 한양대학교 컴퓨터공학 박사
 2011년 3월~2012년 2월 : 한양대학교 POST-DOC
 2012년 4월~현재 : 국방과학연구소

<관심분야> 지휘통제체계, 데이터링크, 상호운용성, 지능형 에이전트, 정보검색, 데이터마이닝
 [ORCID:0000-0002-1420-5846]

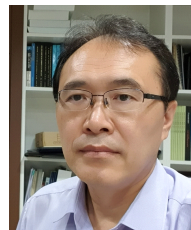
이 규 명 (Gyu Myoung Lee)



1999년 2월 : 홍익대학교 공학사
 2000년 8월 : KAIST 공학석사
 2007년 2월 : KAIST 공학박사
 2007년 7월~2008년 8월 : 미국 표준기술연구소 객원연구원
 2008년 9월~2014년 6월 : 프랑스 Institut Mines-Telecom,

Telecom SudParis 부교수
 2012년 5월~현재 : KAIST IT융합연구소 겸직교수
 2014년 9월~현재 : 영국 Liverpool John Moores University 교수
 <관심분야> 미래 네트워크, 사물 인터넷, 트러스트
 [ORCID:0000-0002-2155-5553]

전 병 천 (Byungchun Jeon)



1984년 2월 : 충남대학교 전자공학과 졸업
 1986년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
 1992년 8월 : 충남대학교 전자공학과 박사
 1987년 6월~1988년 9월 : 국방과학연구소 연구원

1988년 10월~2002년 2월 : 한국전자통신연구원 ATM 교환기, MPLS 라우터 개발
 2002년 2월~현재 : 넷비전텔레콤 대표이사
 <관심분야> 정보통신 프로토콜, 인공지능 기반 상황인지 기술
 [ORCID:0000-0002-9971-7815]