

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.3.53>
IIBC 2019-3-7

전술환경에서 QoS 보장을 위한 클래스 기반 FQ-CoDel 알고리즘 적용 연구

Application Study of FQ-CoDel Algorithm based on QoS-guaranteed Class in Tactical Network

박주만*

Juman Park*

요 약 본 논문은 전술 통신망에서 QoS 향상을 위한 클래스 기반의 FQ-CoDel(Flow queue-Control Delay) 알고리즘을 제안한다. 전술 통신망에서 다양한 응용체계 서비스를 제공하게 되면서 병목현상으로 인한 트래픽 손실 및 지연 문제가 대두되었고 따라서 효과적인 트래픽 처리 방안 연구에 대한 필요성이 제기되었다. 제안방안은 클래스 기반의 FQ-CoDel 알고리즘을 이용한 동적인 버퍼 관리 및 스케줄링 기술로써 서비스 특성 및 중요도에 따라 해당 큐에 패킷을 분류하고 주기적으로 각 패킷의 대기시간을 체크하여 기준 대기 시간을 초과하는 경우 해당 패킷을 폐기하여 큐에 저장된 트래픽 양을 일정 수준으로 조절한다.

Abstract This paper proposes a class-based FQ-CoDel(Flow Queue-Control Delay) algorithm. A variety of application system services create bottlenecks in tactical communication network and the bottlenecks cause some problems such as traffic loss and delay. Therefore, more research on effective traffic processing is needed. The proposed class-based FQ-CoDel algorithm, suggests dynamic buffer management and scheduling, classifies specific packets in each queue according to service attribute and criticality and checks periodically latency of the packets in each queue. Also, it abandons the packets if some packets stay in queue above schedule time and manages the total amount of traffic stored in queue with certain level.

Key Words : Tactical network, FQ-CoDel, QoS

I. 서 론

정보통신기술의 발전과 고성능 통신 단말 개발에 따라 군 전술환경에서 적용가능한 통신기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다^[1,2,3]. 미래전은 정보감시정찰

체계(ISR), 지휘통제 네트워크체계(C4I), 정밀 유도기동 체계(PGMs)간 통합된 모습의 전투력을 극대화하기 위해 네트워크 중심 운용환경(Network Centric Operation Environment, NCOE)이 전쟁의 승패를 좌우할 것으로 예상된다.

*정회원, 국방과학연구소 2본부 1부
접수일자: 2019년 4월 11일, 수정완료: 2019년 5월 11일
게재확정일자: 2019년 6월 7일

Received: 11 April, 2019/ Revised: 11 May, 2019

Accepted: 7 June, 2019

*Corresponding Author: jmpark12@add.re.kr

The 2nd R&D Institute- 1st Directorate, Agency for Defense Development(ADD), Rep. of Korea

네트워크 중심 운용환경은 전투원들이 이동성을 고려한 전장 정보를 유통시키는 환경에서 전쟁을 수행하고 있다. 그림 1과 같이 미육군은 전술통신 사업인 WIN-T(warfighter information network-tactical)를 통해 부대통신소를 중심으로 창끝부대(edge force)까지 간단없는(seamless) 연결을 통해 전장상황을 공유하고 위성망을 사용하여 미국 본토의 전략사령부까지 연결성을 보장하는 등 전투효율을 극대화 하고 있다.^[4] 한국군도 미래 전장에서 정보공유를 통한 공세적 작전 수행의 우위를 점하기 위해 전술정보통신체계(Tactical Information Communication Network, TICN) 전력화를 추진 중이다.^[5]

전술 네트워크에서의 응용 서비스는 VoIP(Voice over IP)서비스, 웹 서비스, 파일전송 서비스, 군이 운용하는 운용체계 등 다양하게 제공되며, 트래픽의 속성에 따라 정보유통 품질에 영향을 주는 지연, 손실, 대역폭, 지연변이에 대한 요구사항이 다르므로 요구사항을 고려하여 서비스 품질을 보장해야 한다. 트래픽별 속성별 요구되는 QoS가 상이한 예로는 항공 무기체계의 경우 레이더로부터 주기적인 항적 좌표를 시스템 요구조건에 따라 신뢰성 있게 수신하여 피아식별 및 타격이 가능해야한다. 따라서 전송 지연이 중요시되며, 감시정찰체계(ISR)는 대용량 영상 데이터를 위한 대역폭 할당 고려가 필요하다.^[6]

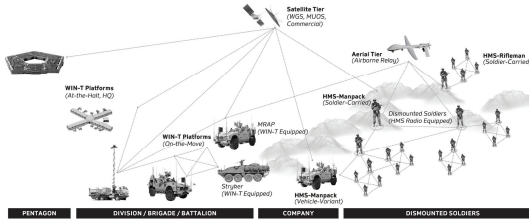


그림 1. 미육군 전술통신망(WIN-T)
Fig. 1. U.S Army tactical network(WIN-T)

다양한 응용 서비스의 트래픽 특성을 고려하지 않고 전술 네트워크로 유통될 경우, 지연변이(jitter)가 발생하거나 부족한 대역폭으로 인해 패킷 손실이 다수 발생할 수 있다.

현재의 전술 백본망 QoS 보장 구조는 SPQ(strict priority queue)와 CBWFQ(class based weighted fair queueing)을 조합한 LLQ(low latency queueing) 구조이다. 전술 응용 체계의 서비스 Flow 별 요구 사항을 반영한 QoS 보장을 위해서는 Flow 별 서비스 요구 사항을 반영한 적응적 큐관리(Adaptive Queue Management, AQM) 기

술이 필요하다. 불필요한 트래픽 유통을 줄임으로써 네트워크 효율성 제고 측면에서의 효과도 기대할 수 있다.

본 연구의 주된 목적은 전술환경에서 제한된 대역폭에서 지능적 큐관리 기법을 검토하고 전술망 환경에서 Riverbed Modeler를 통해 M&S 효과를 제시함에 있다. 제 2절에서는 일반 네트워크 및 전술 네트워크에서 사용하고 있는 일반적인 큐관리 기법과 적응적 큐관리 기법에 대한 개념을 고찰한다. 제 3절에서 클래스 기반 FQ-CoDel 알고리즘 대한 개념을 설명하고 제 4절에서는 Riverbed Modeler를 통해 FQ-CoDel(Flow Queue-CoDel)의 효용성에 대해서 고찰한다. 제 5절에서는 이상의 내용 전반에 대한 결론을 제시한다.

II. 적응적 큐잉 구조

1. 관련 연구

버퍼 관리 알고리즘들은 평균 버퍼길이를 기준으로 하는 RED(Random Early Detection)^[7]가 있으며 여러 Flow에 대하여 RED를 적용하는 FRED^[8] 등이 있다. 그리고 패킷 손실과 링크 사용률을 기준으로 하는 BLUE^[9] 등이 있다.

최근 큐에 입력된 패킷의 지연을 측정하여 폐기하는 CodeI 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[10,11]

2. 정보 표현 모델(Information Compression Model)

수식 (1) 은 TCP 기반의 AQM 시스템에서 적용가능한 일반적인 유체 흐름 모델(fluid-flow model)^[12]이다. 주요 변수는 표 1과 같다.

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))}p(t-R(t)) \quad (1)$$

$$\dot{q}(t) = \frac{W(t)}{R(t)}N(t) - C$$

표 1. TCP/AQM 관련 주요 변수
Table 1. Major variable with regard to TCP/AQM

변수	설명
W	TCP 혼잡 윈도우 사이즈
q	큐의 길이
R	왕복시간
N	TCP 세션 수
p	TCP 경로상의 패킷 드롭 확률

(1)의 수식 모델은 선형적 증가(addictive increase) 및 배수 감소(multiplicative decrease)를 TCP Reno를 통해 동작되고 라우터의 큐 유동(queue dynamic)에 대해서 기술하였다. 비선형성, 시변성과 비확실성 지연이 결합됨을 알 수 있으며 큐잉 처리 관점에서는 종단에서의 행위는 첫 번째 수식으로 동작하고 미식별 사항에 대해서는 적절한 추정 방법은 필요하다. 일반적인 극복방법은 선형모델과 왕복시간(RTT) 및 TCP 세션수 기반의 제어기를 디자인 하는 것이며 TCP 세션을 Flow별로 식별 및 처리하는 것은 확장성의 제약이 일부 존재한다.

3. 전술망에서의 저지연 기반 큐잉 구조

전술통신에서는 DiffServ방식을 적용하여 전술통신체계 및 응용체계 트래픽에 대해서 차등화 된 서비스를 제공한다.

표 2는 현재 전술 백본망의 서비스 품질 보장을 위해 응용 체계에서 네트워크로 유입되는 트래픽의 DSCP(differentiated service code point) 코드를 기준으로 서비스 클래스 별로 분류되고 각각의 서비스 클래스에 맵핑되는 큐에 저장된다. 각 큐들은 우선 순위에 따라 각각 최우선 처리(1st PQ), 우선 처리(2nd PQ), 대역 보장(WPQ), 대역 미보장(BE)으로 구분된다.

표 2. 전술 네트워크의 QoQ 구조 예시^[6]
 Table 2. Example of QoS Queue Structure for Tactical Network ^[6]

서비스	표준 DSCP 코드	예비 DSCP 코드	백본망	간선망	Ad-hoc 망	이동통신망
음성 데이터 (1,2등급)	46 (EF)	1~15	1st PQ	1st PQ	1st PQ	PQ
일제지령 화라인						
단문 메시지 (1,2등급)	40 (CS5)	16~31	2nd PQ	2nd PQ		
음성 데이터 (3~5등급)						
라우팅제어 메시지	48 (CS6)					
SNMP 메시지	24 (CS3)					
영상 데이터	34 (AF41)	33~47	WFQ (13개)	3rd PQ	2nd PQ	FIFO
통화 제어 메시지 (1~4등급)						
단문 메시지 (3,4등급)	36 (AF42)					
통화 가능 수단 확인 (1~4등급)						
다체계 연동 단말 트래픽	38 (AF43)					
통화 제어 메시지 (5등급)	0 (BE)	49~63	BE	4th PQ	3rd PQ	
단문 메시지 (5등급)						
통화 가능 수단 확인 (5등급)						
기타 미식별 트래픽						

저지연 큐잉 구조는 그림 2와 같다. 최우선 처리 서비스 클래스들은 최상위 SPQ(Strict Prior Queue)에 맵핑되어 출력 인터페이스의 링크 대역폭이 허락하는 한 최우선 처리된다. 즉, 첫 번째 SPQ에 분류되는 최상위 서비스 클래스 트래픽들은 설정에 따라 최대 대역폭 범위에서 우선(preemption) 처리된다.

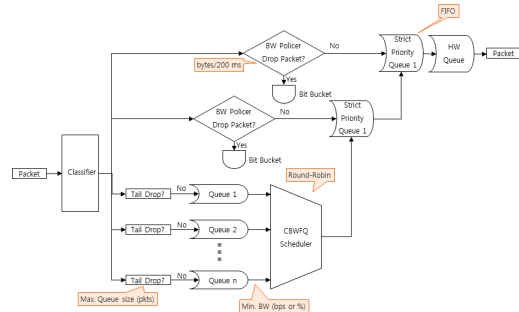


그림 2. 저지연 큐잉 구조
 Fig. 2. Structure of low latency queueing

두 번째 SPQ에 해당하는 서비스 클래스들은 첫 번째 SPQ에 해당하는 서비스 클래스 트래픽들의 전송이 완료 후 가용한 대역폭에서 최우선 처리되며, 방식은 첫 번째 SPQ와 같다. 두 개의 SPQ에 해당하는 서비스 클래스 트래픽들을 전송 후에 가용한 대역폭은 CBWFQ에 저장된 서비스 클래스 트래픽들을 전송하는데 사용된다. CBWFQ 스케줄러에 의해 제어되는 Tail Drop 큐들은 각각의 우선순위에 따라 최소 보장 대역폭이 각각 차별하여 보장되며, 패킷 폐기는 각 큐의 처리율과 큐 크기에 의해 결정된다. 남은 대역폭으로 최소 대역폭 이상 처리를 하다가 큐가 가득 차게 되면 신규 패킷을 폐기하여 처리를 제어하게 된다. 마지막으로 최소 대역폭 보장이 없는 미식별 트래픽 또는 BE(Best Effort) 트래픽들은 남은 대역폭이 있을 경우 전송되게 된다.

III. 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조

1. CoDel 프로토콜

CoDel 프로토콜은 AQM 기법중 최근 연구개발이 활발히 진행되고 있는 프로토콜 중의 하나로 그림 3과 같이 큐에 패킷이 인입되는 시점에 time stamp를 기록하여 지연 시간을 추적한다.

큐의 헤드(head)에 저장되어 있는 큐에서 가장 오래 된 패킷이 가장 지연 시간이 길기 때문에 이 패킷이 겪은 지연 시간을 확인하여 목표 지연 시간 이상의 지연을 겪은 경우 이를 폐기하게 된다.

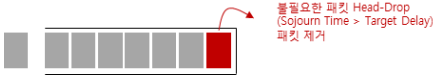


그림 3. CoDel 기본 개념
Fig. 3. Basic concept of CoDel

2. FQ-CoDel(Flow Queue-CoDel) 프로토콜

FQ-CoDel 프로토콜은 다수의 CoDel 큐를 DWRR(Deficit Weighted Round Robin) 기법으로 스케줄링 하는 방식이다. 서비스 Flow 별로 논리적인 큐를 생성하고 이들을 DWRR 방식으로 스케줄링한다. 장점은 서비스 Flow 별로 상이할 수 있는 지연시간 QoS 요구 사항을 보장해줄 수 있고, 서비스 간의 공평성을 보장해 줄 수 있다는 것이다. 공평성 보장을 위해 새로운 서비스와 기존 서비스의 Flow 큐 목록을 별도로 관리하여 Round-Robin 시 새로운 서비스에 먼저 기회를 준다.

3. 적응형 전술 서비스 품질 보장 프로토콜

그림 4는 전술 통신망의 서비스 Flow 별 요구사항을 적응적으로 보장해주기 위한 프로토콜의 상세 설계이다. 서비스 Flow 별 품질 보장을 위해 FQ-CoDel 구조를 적용하였고, 전술 우선순위의 엄격한 보장을 위한 SPQ를 적용하였다. 우선순위가 다른 서비스 Flow에 대해서는 엄격한 차등 처리가 이루어지지만, 우선순위가 다른 서비스에 대해서는 Flow 별 요구 사항을 반영하고 공평한 자원 분배를 수행한다. 물론 Flow 별 가중치에 따른 세밀한 차등 처리도 가능하다.

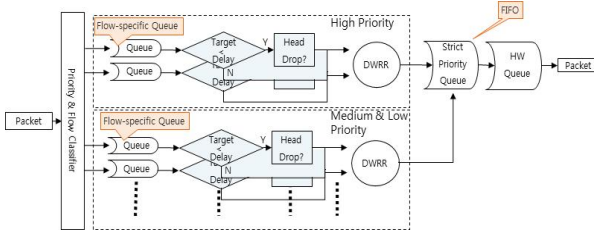


그림 4. 적응형 전술 서비스 품질 보장 프로토콜 상세 설계
Fig. 4. Detailed Design for AQM Protocol

IV. M&S 모델 구현 및 검증

1. FQ-CoDel 모델 구현

FQ Codel 기능은 Riverbed Modeler의 CoT모형을 기반으로 수정 개발하였고 그림 5와 같이 프로세스 모델 상태도를 구현하였다.

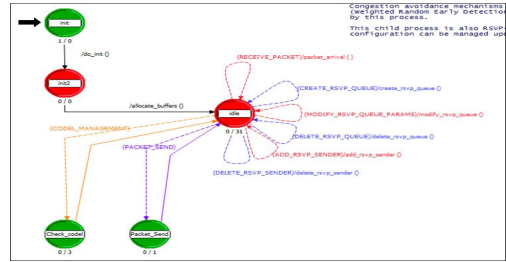


그림 5. FQ-CoDel 프로세스 모델의 상태도
Fig. 5. State diagram for FQ-CoDel process model

2. 성능 분석 환경

FQ-CoDel 구현 모델을 검증하기 위해서는 전술망 환경의 신뢰성 검증이 필요하다. 그림 6은 전술환경에서의 백본망 구성이며 표 3은 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조의 성능 분석을 위해 수행한 M&S의 환경 설정이다.

성능 비교를 위해 기존 전술통신망의 LLQ 구조와 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조의 성능을 비교하였다. 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조는 Flow 기반 QoS 보장의 범위에 따른 비교를 위해 부대통신소의 전술 백본망 게이트웨이에만 적용한 경우와 전체 라우터에 적용한 경우를 각각 성능 분석하였다.

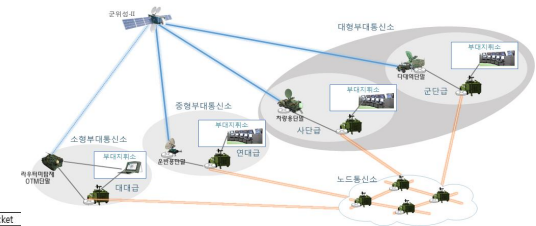


그림 6. 전술환경에서 토폴로지 구조
Fig. 6. Topology structure for tactical environments

M&S 토폴로지는 그림 7과 같이 가상의 지역 군단망 토폴로지를 적용하였고, 성능 지표는 서비스 품질 성능 비교를 위해 중단간 지연시간, 처리량, 패킷 손실률 및 TCP 품질지표로 응답시간을 비교하였다. CoDel 설정 변수는 표에서 보이는 바와 같이 서비스 별로 차등을 두

었다. 트래픽 모델은 망 부하를 모델링 하기 위한 백그라운드 트래픽으로 평상시 군단 IER(Information Exchange Requirement)의 3배 크기의 트래픽을 모의하였다. 이는 방어 작전 등의 네트워크 혼잡 상황에서 성능 분석을 위한 환경 설정이다.

표 3. 성능 분석 환경
 Table 3. Performance analysis

항목	내용						
목적	<ul style="list-style-type: none"> 전술백분망 트래픽 부하 분산 기술 효용성 분석 						
비교군	<ul style="list-style-type: none"> 기존 전술백분망의 LLQ 기반 QoS구조 부대통신소에만 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조 적용 전체 노드에 적응형 전술 서비스 품질 보장 구조적용 						
토폴로지	<ul style="list-style-type: none"> 노드통신소 17개소 통신지원반 26개소 대형/중형/소형 부대통신소 9 /31 /163개소 						
링크 품질	지형/위성 모두 BER 10^{-6}						
성능 지표	<ul style="list-style-type: none"> 서비스 품질: 중단간 지연, 처리량 및 패킷 손실률 TCP 품질: 응답시간 						
CoDel 파라미터	Class	EF	AF41	AF31	AF21	BE	
	Target Delay	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	
	Check Interval	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

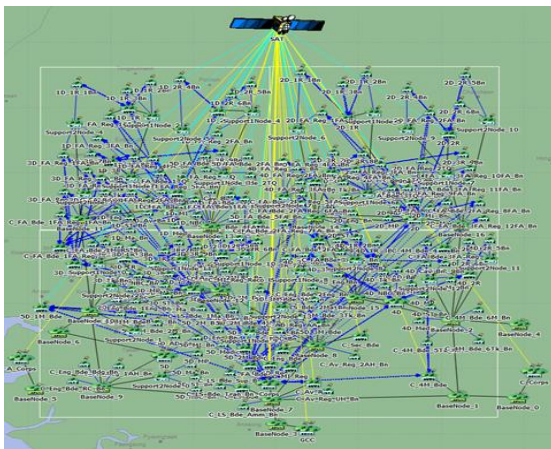


그림 7. 성능 분석 토폴로지
 Fig. 7. Topology for performance analysis

3. FQ-CoDel 프로토콜 M&S 분석결과

전송 품질 성능 분석 결과 그림 8과 같이 적응형 서비스 품질 보장 구조를 적용하였을 때, 패킷 손실률은 증가하였다. 기존 LLQ 구조에서 가장 작은 패킷 손실률이 나타났고, 적응형 서비스 품질 보장 구조를 전체 라우터에

적용하였을 때가 가장 많은 패킷을 폐기하였다. 이는 최우선 처리 되던 음성 서비스 패킷 중 송신 하더라도 수신단의 서비스 품질에 영향을 미치지 않거나 서비스 품질 요구 사항을 만족시키지 못하는 패킷을 폐기하기 때문이다.

패킷 폐기율은 증가했지만, 그림 9와 같이 서비스 별 평균 유효 전송량은 오히려 증가하거나 비슷하게 유지됨을 확인할 수 있다. 평균 유효 전송량은 LLQ 구조가 가장 적었다.

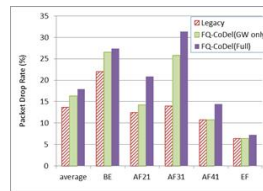


그림 8. 서비스 별 평균 패킷 손실률
 Fig. 8. Average packet drop rate for service

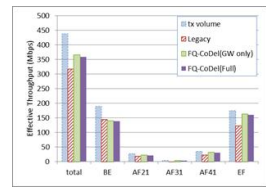


그림 9. 서비스 별 유효 전송량
 Fig. 9. Effective throughput for service

중단간 지연 성능은 그림 10과 같이 전체 라우터에 적응형 서비스 품질 보장 구조를 적용하였을 때 가장 적게 나타났다. 그리고 전체 라우터에 적용하였을 경우와 Edge 라우터에만 적용한 경우 설치 및 운용에 필요한 비용이 있기 때문에 전체 라우터에 적용하였을 때 성능이 더 좋다고 하더라도 성능과 비용 간의 trade-off 관계를 추가적으로 검토가 필요하다.

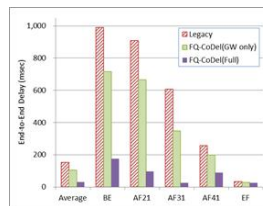


그림 10. 서비스 별 중단간 평균 전송 지연
 Fig. 10. End to end delay for service

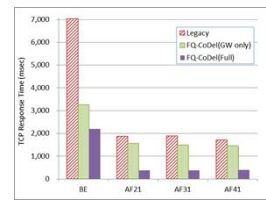


그림 11. TCP 세션 응답 시간
 Fig. 11. Reaction time for TCP session

그림 11은 서비스 별 TCP 세션 응답 시간을 비교한 결과이다. 지연 시간에 따라 결정되기 때문에 기존 LLQ 구조에 비해 적응형 서비스 품질 보장 구조에서 성능 향상을 확인할 수 있었고, 전체 라우터에 적용할 경우 더

큰 효과가 나타났다. BE 트래픽이 가장 많은 성능 향상을 보인 것은 가장 우선 순위가 낮아 가장 적은 자원을 사용하였기 때문이다. 이러한 성능 향상의 가장 큰 원인은 Delay 기반으로 혼잡을 판단하는 FQ-CoDel 적용시 기존의 큐 크기 기반으로 혼잡을 판단할 때보다 TCP 윈도우 크기와 실제 전송 가능한 전송 속도 간의 격차가 감소했기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 군 전술 통신망의 특성을 고려하여 동적 버퍼 관리 기술과 스케줄러를 결합한 Class 기반 CoDel 기술을 제안하였다. 큐 관리 기술은 큐의 대기 지연에 따라 패킷을 폐기하는 CoDel 기술을 적용하였으며 스케줄러 기술은 음성과 같이 지연에 민감한 패킷을 전송하기 위한 PQ 스케줄러와 서비스 별 중요도에 따라 전송 순서를 결정하는 WFQ를 결합한 복합 스케줄러 기술을 적용하였다. 그리고, 제안하는 기술의 효과를 검증하기 위하여 Riverbed Modeler로 개발된 시뮬레이터를 이용하여 성능 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 제안하는 기술을 적용하였을 경우 부대통신소 망의 게이트웨이에만 적용한 경우와 전체 망의 라우터에 적용한 경우에 중단 간 지연시간, 패킷 처리량 및 손실률을 비교하였다. 그 결과 망 전체의 라우터에 제안 알고리즘을 적용한 경우에 각 성능 지표상의 수치가 개선됨에 따라 지능적인 패킷 처리를 통한 QoS 향상을 확인하였다.

References

[1] Y. S. Im, E. Y. Kang, "MPEG-2 Video Watermarking in Quantized DCT Domain," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 11, No. 1, pp. 81-86, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.2.17>

[2] I. Jeon, S. Kang, H. Yang, "Development of Security Quality Evaluate Basis and Measurement of Intrusion Prevention System," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 11, No. 1, pp. 81-86, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.4.1.1449>

[3] Eun-Gyu Ham, Chang-Bok Kim, "Model Implementation of Reinforcement Learning for Trading Prediction Using Deep Q Network," The Journal of KIIT, Vol. 17, No. 4, pp. 1-8, 2019.
DOI: 10.14801/jkiit.2019.17.4.1

[4] General Dynamics Mission Systems, WIN-T The mobile expeditionary soldier's network, pp. 27-28, Mar. 2017.

[5] J. Park, "Network Configuration Scheme to Improve reliability Based on Tactical Wireless Network", KIMST conference pp.699-710, oct., 2017

[6] Jang-wee Research Institute for National Defence in Ajou University, "Guarantee of InformationCirculation for Weapon-system in All-IP Tactical Network," Research Report, 2014.

[7] B. Braden, "Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet," RFC 2309, 1998.
DOI: <https://tools.ietf.org/html/rfc2309>

[8] Woo-June Kim, Byeong Gi Lee, "FRED-fair random early detection algorithm for TCP over ATM networks", IEEE IET Vol34. issue 2, pp. 152-154, 22 Jan. 1998.
DOI: 10.1049/el:19980049

[9] W. C. Feng, Kang G. Shin, Dilip D. Kandlur and Debanjan Saha, "The BLUE Active Queue Management Algorithms," IEEE/ACM Trans. of Networking, Vol.10, No.4, pp.513-528, 2002.
DOI: 10.1109/TNET.2002.801399

[10] Z. Liu, X. Hu, "An Adaptive AQM Igorithm Based on a Novel Information Compression Model" IEEE Access, vol2, issue 1, pp.31180-31190, 2018
DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2844407

[11] H. Jorgensen, Toke, "Analyzing the latency of sparse flows in the FQ-CoDel queue management algorithm", IEEE Communications Letters, vol.22, issue 11, pp.2266-2269
DOI: 10.1109/LCOMM.2018.2871457

[12] V. Misra, W.-B. Gong, and D. Towsley, "Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows with an application to RED," ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 30, no. 4, pp. 151160, 2000.

저자 소개

박주만(정회원)



- 2009 : 경남대학교 전자공학과 학사
- 2011 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2012 ~ 현재 국방과학연구소 연구원
- 주관심분야 : 전술통신, 신뢰성 및 M&S