

이종 군 전달망 통합구조 및 QoS 정책 연구

박 규 동*, 이 규 민*, 노 병 희*, 김 의 국**, 류 동 국^o

A Study on Integrated Structure and QoS Policy for Heterogeneous Military Transports

Gyudong Park*, Gyu-min Lee*, Byeong-hee Roh*, Euikook Kim**, Dong Kuk Ryu^o

요 약

우리 군은 현재 다수의 이종 전달망들을 운용하고 있으며, 그에 대한 효율성, 생존성 및 보안성 향상을 원하고 있다. 본 논문은 우리 군의 전달망 구축 및 운용 현황을 분석하고, 사용군 요구 충족과 문제점 해소를 위한 전달망 개선방안으로서 이종 통신망 통합구조와 그에 적합한 QoS 정책을 제안한다. 그리고 실험을 통해 그에 대한 타당성과 우수성을 보인다.

키워드 : 이종 전달망, 통합구조, 다중경로 TCP, 미군정보네트워크, 서비스 품질

Key Words : Heterogeneous Transports, Integrated Structure, MPTCP, DoDIN, QoS

ABSTRACT

Korean military is using several heterogeneous transports and it is expected to improve the efficiency, survivability and security of the transports. This paper analyzes the status of implementation and operation of the transports, and proposes an integrated structure and QoS policy for the heterogeneous transports as improvement measures to satisfy the customer's requirements and solve the problems. And shows the feasibility and superiority of the proposed integrated structure and QoS policy through experiments.

I. 서 론

현재 우리 군은 MBcN (Military Broadband Convergence Network), M/W (Microwave)망, 위성망 등으로 구성된 이른바 다계층 통신망을 기반으로 음성전화, 화상회의 및 데이터 서비스를 운용하고 있다¹⁾. 그리고 각 서비스는 MBcN을 주망으로, M/W망과 위성망을 예비망으로 운용하고 있으며, 주망 운용 간에는 예비망의 대역폭이 낭비되고 있는 실정이다. 그리고 QoS 정책의 적용은 없거나 미흡한 수준인 것

으로 파악된다. 이에 대하여 우리 군은 고가의 자원인 통신망 자원들을 모두 상시 운용하고, 보다 효율적으로 활용할 수 있기를 바라고 있다²⁾.

본 논문은 현재 독립적으로 운용되고 있는 이종 전달망들을 통합하고, 적절한 QoS 정책을 적용하여 운용함으로써 우리 군 통신망의 효율성을 높일 수 있고, 추가로 보안성까지 향상시킬 수 있다고 판단한다. 이를 위해 본 논문은 이종 전달망의 상시 운용을 위한 통합구조를 설계하고 그에 적합한 QoS 정책을 개발하고 검증한다. 단 군 통신망은 우리 군의 핵심 자원

* 본 연구는 국방과학연구소 주관 국방 지휘통제 통합·연동 기반기술 특화연구실 과제의 연구 실적임

• First Author : Agency for Defense Development(ADD), iobject@add.re.kr, 정희원

^o Corresponding Author : Agency for Defense Development(ADD), dkryu@add.re.kr, 정희원

* Dept. of Computer Engineering, Ajou University, mybrand@ajou.ac.kr, 학생회원; bhroh@ajou.ac.kr, 종신회원

** Netvision Telecom Inc., ekkim@netvisiontel

논문번호 : 201912-338-0-SE, Received December 16, 2019; Revised December 30, 2019; Accepted January 3, 2020

으로서 상세 내용의 공개가 제한된다. 그래서 본 논문은 제시하는 통합구조와 QoS 정책을 상위 수준의 일부 국면으로 한정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I장은 서론이고, II장에서는 연구 배경과 관련 연구를 기술한다. III장과 IV장에서는 이중 전달망 통합망 구조를 설계하고 그에 적합한 QoS 정책을 개발한다. V장에서는 그 결과를 실험을 통하여 검증하고, 끝으로 VI장에서는 결론을 맺고 향후 필요한 연구사항에 대하여 언급한다.

II. 배경 및 관련 연구

현재 우리 군은 고정 전달망으로서 MBcN, M/W 망, 그리고 위성망을 운용하고 있다. 우리 군의 대부분의 체계들은 MBcN을 주망으로 M/W망과 위성망을 예비망으로 운용하고 있으며, 주망 운용 간에는 예비망의 대역폭이 사용되지 않고 낭비되고 있다. 전달망 기반 서비스는 통상 음성전화, 화상회의 및 데이터 서비스로 구분되며, 우리 군 또한 이들 유형의 서비스들을 모두 구현하여 운용하고 있다. 하지만 사용자 또는 서비스별 QoS 정책 적용은 없거나 미흡한 수준인 것으로 파악된다. 이에 대하여 우리 군은 고가의 자원인 전달망 자원을 낭비 없이 효율적으로 사용할 수 있기를 원하고 있다. 그리고 적절한 QoS 정책 개발 및 적용과 보안성 향상에 대한 요구는 항상 존재해 왔다³⁾.

한편 이중 전달망 통합 관련하여 MPTCP (Multi Path TCP) 솔루션을 활용한 이중 통신망 통합운용 실험이 수행된 바 있다. MPTCP는 2013년에 IETF (Internet Engineering Task Force)에 의해 표준화된 기술로, 다수의 TCP 경로를 구성하고 이들 경로로 동시에 데이터를 송수신할 수 있다⁴⁾. 이중망에 대하여 다중 경로를 구성하는 경우 대역폭 aggregation 효과를 얻을 수 있으며, 다중 경로 중 하나의 경로에 이상이 발생하는 경우 다른 경로로 트래픽이 자동으로 분산되어 생존성이 향상되고, 다중 경로 중 일부 경로의 트래픽이 탈취되더라도 전체 데이터를 복원하는 것이 불가능하므로 보안성이 향상되는 효과를 부수적으로 얻을 수 있다^{5,6)}. 하지만 이 MPTCP를 활용한 이중 전달망 통합운용 실험들에서는 좋은 결과를 보이지 못하고 있다. 특히 음성전화 또는 화상회의 서비스의 경우 품질 저하가 매우 크다고 한다. 그 원인은 MPTCP가 TCP의 전송제어 알고리즘을 그대로 적용하여, 가장 낮은 성능의 경로에 의해 전체 경로의 성능이 영향을 받으며, 특정 경로에 트래픽이 몰릴 경우 그 성능 저하, 즉 지연 (delay) 및 지연변이 (jitter)가

증폭되기 때문인 것으로 판단한다.

군 통신망 QoS 정책과 관련해서는 DoDIN (DoD Information Network)의 UC (Unified Capabilities)에 적용된 QoS 정책이 대표적이다. 미군의 네트워크인 DoDIN은 UC 서비스 중, 음성전화, 화상회의, 채팅 등 실시간 의사소통 서비스에 대하여 우선순위에 따라 차등적으로 전송 서비스를 제공하고, 나머지 데이터 서비스에 대해서는 best effort를 적용하는 QoS 정책을 사용하고 있다. 이는 실시간 의사소통 서비스가 다른 서비스에 비해 지연과 지연변이에 특히 민감하기 때문인 것으로 보인다. DoDIN의 UC QoS 정책을 간략히 요약하면 다음과 같다. 첫째, DoDIN은 서비스 유형에 따라 FO (Flash Override), F (Flash), I (Immediate), P (Priority), R (Routine) 순으로 5단계의 우선순위를 부여하고 있다. 둘째, 요청에 따라 가용 대역폭을 할당하되, 가용 대역폭이 모두 소진된 이후의 요청에 대해서는 낮은 우선순위 서비스의 대역폭을 회수 (Bandwidth Preemption)하여 높은 우선순위 서비스에 할당한다⁷⁾. DoDIN의 이러한 UC QoS 정책은 IP/MPLS 기반의 단일망에 적용되며, 특히 미군의 부대망과 백본망을 연결하는 접근망 부분의 라우터에 적용된다.

III. 이중 전달망 통합구조 제안

현행 주망, 예비망 구성에서는 예비망 대역폭의 낭비가 불가피하다. 본 논문에서는 우리 군의 전달망 운용 효율을 높이기 위하여, MBcN, M/W망, 위성망의 이중 전달망을 주망, 예비망 구분 없이 통합 구성하고, 적절한 QoS 정책을 개발하여 적용하는 구조를 제안한다. 전달망은 OSI 7계층 모델에서 4계층을 기준으로 하위 계층들을 구현한 것이다. 그래서 본 논문에서는 L3 라우터 또는 L4 로드밸런서 장비를 활용하여 이중 전달망들을 통합하는 것이 가능하며 타당하다고 판단한다. 앞서 설명한 MPTCP 또한 L3의 라우팅 또는 L4의 로드밸런싱 구현 기술로 볼 수 있다. 제안하는 장비 및 기능 구성을 요약하면 다음과 같다.

이는 매우 쉽고, 단순하지만 유효한 구조이나, 이 구조를 통해 우리 군의 여러 이중 전달망들의 통합운용이 가능하다. 다수 네트워크 장비 벤더들이 이 구조의 구현 가능성과 타당성을 확인하였으며, 동일 목적으로 유사한 구조들에 제안되고 있기도 하다. QoS 정책은 별도 장비를 통해 구현 가능하다. 보다 상세한 설계는 특정 장비의 선택에 관한 것으로 실제 사업에서 수행되는 것이 바람직하므로 본 논문에서는 생략

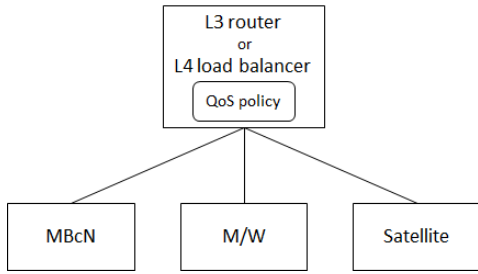


그림 1. 이종 전달망 통합구조
Fig. 1. Integrated structure of the heterogeneous transports

한다.

IV. 통합구조에 적합한 QoS 정책 제안

본 논문에서는 앞서 제안한 이종 전달망 통합구조에 적합한 QoS 정책을 다음과 같이 제안한다.

① 서비스 유형별 우선순위

본 논문에서는 중요 데이터, 중요 음성전화, 중요 화상회의, 일반 음성전화, 일반 화상회의 및 일반 데이터 순으로 우선순위를 부여한다. 이는 우선순위 차등 부여의 필요성과 효과성을 실험하기 위한 예시적 분류이며, 실제 구현은 다를 수 있고, 달라야 한다. 그리고 중요 서비스는 일반 서비스에 비해 우선 전달되어야 한다. DoDIN의 UC의 경우 채팅 등 실시간 의사소통을 위한 데이터 서비스 외 나머지 모든 데이터 서비스에 대해서는 best effort를 적용하지만, 본 논문에서는 모든 데이터 서비스의 데이터를 중요 데이터와 일반 데이터로 구분하고 차등적 서비스를 제공한다. 예를 들어 전송 상황 자료 공유는 음성통화, 화상회의의 또는 채팅 등에 비해 데이터 공유로 구현하는 것이 빠르고 정확하며, 중요도와 실시간성을 고려할 때 높거나 가장 높은 우선순위를 가져야 하기 때문이다⁶⁾. 본 논문에서 제안하는 QoS 정책은 대역폭에 여유가 있다면 모든 서비스들에게 요구 대역폭을 할당하고, 대역폭이 소진된 경우, 우선순위가 낮은 서비스의 대역폭을 강제 회수하여 보다 높은 우선순위의 서비스에 할당하는 방식으로 동작한다.

② 음성전화/화상회의의 트래픽 단일 전달망 할당

데이터 서비스에 비해 음성전화 또는 화상회의는 지연과 지연변이에 특히 민감하여, DoDIN 또한 실시간 의사소통 서비스에 대하여 우선순위를 부여하는 QoS 정책을 적용하고 있다. DoDIN의 QoS 정책은 단일 전달망에서 동작하지만, 본 논문에서 제안하는

QoS 정책은 이종 전달망 통합구조에서 어떤 전달망의 경로로 전달할 것인지를 추가로 결정하고 실행하여야 한다. 그런데 앞서 사례 분석을 통해 소개한 MPTCP 기술을 적용하여 서비스의 트래픽을 다수의 이종 전달망을 통해 나누어 전달하는 실험에서, 음성전화와 화상회의의 서비스가 좋은 결과를 얻지 못했던 것의 원인을 전달망 간 매체 특성의 차이로 인한 지연 및 지연변이 때문인 것으로 추정하였다. 그래서 본 논문은 그에 대한 단순하지만 효과적인 해결책으로서, 음성전화 또는 화상회의의 서비스에 대해서는 단일 전달망 경로를 할당하는 QoS 정책을 제안한다.

③ 일반 데이터 서비스의 경우 2개 이상 전달망 할당

데이터 서비스는 음성전화 또는 화상회의의 서비스에 비해 지연 또는 지연변이로부터 상대적으로 자유롭다. 그래서 MPTCP 기술로부터 얻을 수 있는 부수적 효과인 보안성 향상을 위하여 일반 데이터 트래픽의 경우 2개 이상의 전달망으로 나누어 전달하는 QoS 정책을 제안한다. 이 때 모든 데이터 서비스가 아닌 일반 데이터 서비스로 QoS 정책 적용 대상을 한정하는 것은 중요 서비스의 경우 우선 전달이 요구되기 때문이다.

④ MBcN 대역폭 우선 할당

MBcN, M/W망, 위성망 중 가장 빠르고 안정적인 전달망은 MBcN이다. 따라서 모든 전달망이 가용하다면 MBcN을 우선 할당하는 것이 타당한 접근일 것이다. 그리고 3종의 전달망 대역폭을 모두 소진한 상황에서 우선순위가 높은 서비스가 대역폭을 요구한다면, 우선순위가 낮은 서비스의 MBcN 대역폭을 회수하여 우선순위가 높은 서비스에 할당하고, M/W망 또는 위성망 대역폭에 여유가 있다면 해당 대역폭을 할당한다.

상기 QoS 정책들은 실제 구현에서는 보다 구체화되어 적용되어야 할 것이나, 사용군 요구 충족과 기존 QoS의 문제점 해소를 위한 핵심 정책 위주로 제안하였다. DoDIN의 UC QoS 정책 또한 공개된 문서 내에서는 서비스별 우선순위를 보다 구체적으로 구분하고 있을 뿐 정책 자체는 본 논문에서 제안하고 있는 수준과 크게 다르지 않다. 전달망은 군의 핵심 자원으로서 세부 내용의 공개가 제한될 수 있다.

V. 실험 결과

본 논문은 두 가지 실험을 통해 제안하는 이종 전달망 통합구조와 QoS 정책의 타당성을 검증한다. 하

나는 리버베드 모델러를 활용한 M&S 실험이고, 다른 하나는 iTrinegy 네트워크 에뮬레이터를 활용한 데모 실험이다.

5.1 M&S 실험 결과

본 논문은 MBcN, M/W망, 위성망의 3종의 전달망, 음성전화, 화상회의, 데이터의 3종의 서비스, 그리고 본 논문의 QoS 정책과 대조군 정책들을 모델링하여 실험한다. 이를 위해 구성한 네트워크 토폴로지는 그림 2와 같다. 이 토폴로지는 트래픽을 생성 및 송수신하는 2개 노드로 구성되고, 각 노드는 MBcN, M/W망, 위성망으로 서로 연결된다.

M/W망과 위성망은 무선 링크이나, 본 논문은 강우 감쇄와 같은 무선 채널의 특성 관련 실험을 포함하지 않으므로 MBcN, M/W망, 위성망 모두를 유선 링크로 모의하여 구성한다^[8]. M/W망과 위성망에는 매체 특성에 따른 추가 지연시간을 반영한다^[표 1]^[9].

각 노드는 음성전화, 화상회의 및 데이터 서비스 트래픽을 발생시키고 상대방 노드와 송수신한다. 음성전화 서비스의 트래픽은 CBR (Constant Bit Rate)의 G.711로 모의하고^[10], 최대 10개 세션이 가능하고, 중요 세션과 일반 세션의 비는 5 : 5이다. 화상전화 서비스의 트래픽은 CBR의 H.264로 모의하고^[11], 최대 10개 세션이 가능하고, 중요 세션과 일반 세션의 비는 5 : 5이다. 그리고 데이터 서비스의 트래픽은 최대 세션의 제한이 없으며, 중요 트래픽과 일반 트래픽의 비는 1 : 9이다. 또한 트래픽 발생량의 차이에 따른 성능 변화를 분석하기 위하여 트래픽 발생량을 1배수 (MBcN 대역폭 (1Gbps)의 30%), 3배수 (MBcN 대역폭 90%), 5배수 (MBcN 대역폭 150%)로 달리하여 실험한다. 측정되는 출력 값은 처리량 (throughput), 지연 (delay), 지연변이 (jitter) 등이다. 본 M&S 실험의 실험 시나

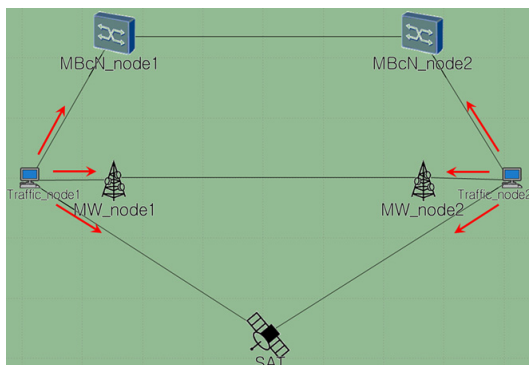


그림 2. M&S를 위한 네트워크 토폴로지
Fig. 2. Network topology for the M&S

표 1. 전달망 설정 값
Table 1. Transports configuration values

N/W	B/W	Latency	Loss	Notes
MBcN	1Gbps	1ms	0.0%	1000Base-T Ethernet
M/W	155Mbps	50ms	0.0%	STM-1 Carrier
Satellite	1.544Mbps	250ms	0.0%	T1 Carrier

리오는 다음과 같다.

① 시나리오1 : 미통합, QoS 미적용

이 시나리오는 현행의 QoS 정책이 미적용된 주망 (MBcN), 예비망 (M/W망, 위성망) 구조를 실험한다. 주망 장애 시의 예비망 전환은 실험하지 않으며, 따라서 MBcN에 대해서만 실험한다.

② 시나리오2 : MPTCP QoS

이 시나리오는 3개 이중망 통합구조와 MPTCP를 활용한 단순 방식의 QoS를 실험한다. 발생 트래픽을 전달망별 용량에 비례하여 3분하여 전달망별로 할당한다. 이 QoS는 모든 이중 통신망들을 동시에 운용하며, 각각을 최대한으로 활용하는 것을 목적으로 한다.

③ 시나리오3 : DoDIN UC QoS

이 시나리오의 단일 전달망 (MBcN)을 운용하고 QoS는 음성전화와 화상회의 트래픽에 대하여 우선순위에 따라 가용 대역폭을 할당 및 재할당하고, 모든 데이터 트래픽에 대해서 best effort를 적용한다.

④ 시나리오4 : 제안 QoS

이 시나리오는 본 논문에서 제안하는 이중망 통합 구조와 QoS를 실험한다. 본 M&S 실험은 실험 편의를 위하여 실제와는 다르게 우선순위가 낮은 음성전화 또는 화상회의의 대역폭 회수 시, 해당 세션을 끊지 않고 지연시킨다. 그래서 본 실험은 처리량, 지연, 지연변이를 측정하지만, 처리량은 생성량과 정확히 일치하므로 결과 확인 및 분석에서 제외한다. 지연된 트래픽을 모두 처리할 수 있도록 전체 시뮬레이션 시간은 트래픽 발생 시간의 2배로 하였다. 시나리오별 시뮬레이션은 각각 3회씩 실시하였다.

MBcN 단일망에 대하여 QoS 정책을 미적용하였을 때 (시나리오1)의 실험 결과는 누구나 예상할 수 있는 결과와 다르지 않았기 때문에 상세 내용은 생략한다. 각 배수에서 모든 유형의 트래픽들이 동일한 지연을 보였으나, 지연변이의 경우 트래픽 유형별로 다소간의 차이가 있었다. 이는 개별 트래픽의 발생 빈도 및

크기 차이에 의한 것으로 판단된다.

3종의 이중 전달망을 통합하여 MPTCP 기반의 QoS를 적용한 시나리오3에서의 트래픽 유형별 평균 지연은 다음과 같다.

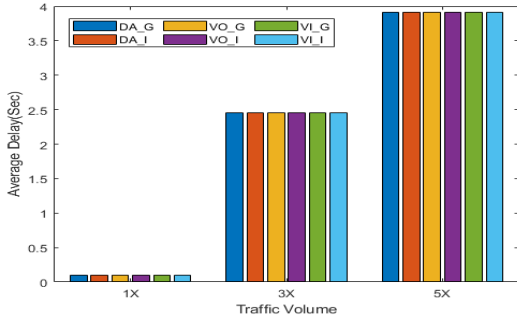


그림 3. 트래픽 유형별 평균 지연시간 (시나리오2)
Fig. 3. Average delay by traffic type (Scn. 2)

DA_G는 일반 데이터, DA_I는 중요 데이터, VO_G는 일반 음성, VO_I는 중요 음성, VI_G는 일반 화상, VI_I는 중요 화상 트래픽을 의미한다.

MPTCP QoS는 이중 전달망의 균등 운용을 목적으로 하고, 서비스 유형별, 우선순위별 QoS 정책은 포함하지 않기 때문에 트래픽 유형별 지연 차이는 보이지 않는다. 단, M/W망과 위성망 등 MBcN에 비해 지연이 큰 매체 특성이 반영되어 2초 이상 (3배수), 4초에 가까운 (5배수) 지연이 측정된다. 이는 패킷별 지연의 평균 값으로 실제 사용자가 경험하는 지연은 더 클 수 있으며, 이러한 지연은 실시간 의사소통에 부정적 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다. 그리고 트래픽 유형별 평균 지연변이는 그림 4와 같다.

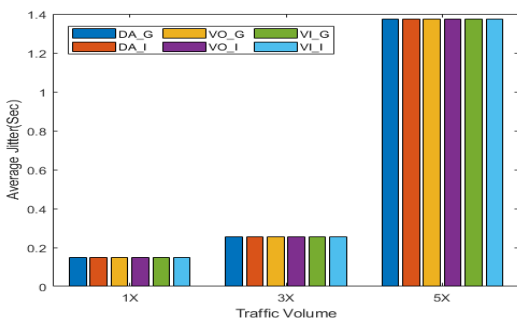


그림 4. 트래픽 유형별 평균 지연변이 (시나리오2)
Fig. 4. Average jitter by traffic type (Scn. 2)

단일 전달망 (MBcN)을 운용하고, 음성전화 및 화

상회의 서비스에 대해서만 QoS를 적용하는 시나리오 3에서의 서비스 유형별 평균 지연은 그림 5와 같다.

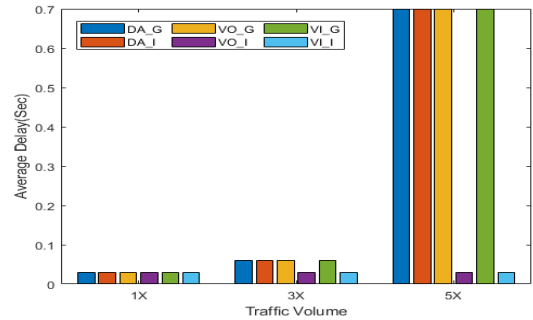


그림 5. 트래픽 유형별 평균 지연시간 (시나리오3)
Fig. 5. Average delay by traffic type (Scn. 3)

중요 음성 및 화상 서비스에 대하여 우선순위를 부여하는 QoS 정책에 따라 해당 서비스 트래픽들이 우수한 지연 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

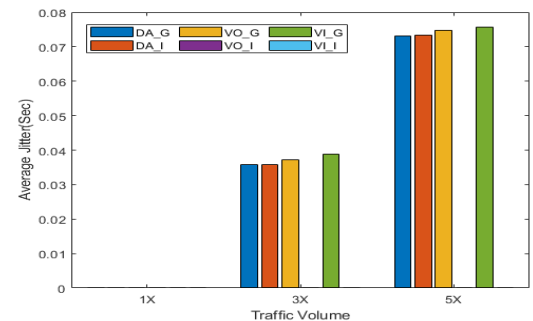


그림 6. 트래픽 유형별 평균 지연변이 (시나리오3)
Fig. 6. Average jitter by traffic type (Scn. 3)

서비스 유형별 평균 지연변이는 그림 6과 같다. 지연과 마찬가지로 중요 음성 및 중요 화상 서비스에 대하여 우수한 지연변이 특성을 보이고 있다.

3종의 이중 통신망을 통합하여, 본 논문에서 제안하는 QoS를 적용한 시나리오4에서의 트래픽 유형별 평균 지연과 지연변이는 그림 7, 8과 같다.

중요 음성, 화상, 데이터 서비스에 대하여 매우 우수한 지연 및 지연변이 특성을 보이고 있다.

시나리오별 지연 시간 측정 결과를 종합하면 표 2와 같다. 지연 측면에서는 시나리오2가 가장 좋지 않은 결과를 보이고 있다. M/W망과 위성망의 매체 특성, 특히 위성망의 지연 특성이 크게 작용한 것이 그 원인으로 분석된다. 일반 서비스 트래픽 관련하여서는

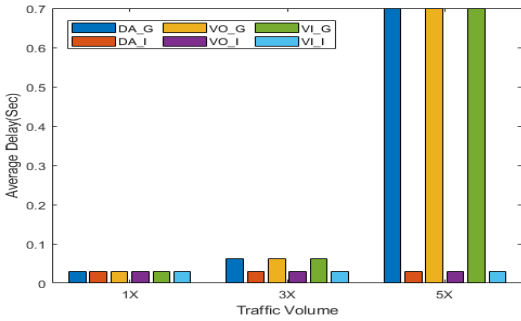


그림 7. 트래픽 유형별 평균 지연시간 (시나리오4)
Fig. 7. Average delay by traffic type (Scn. 4)

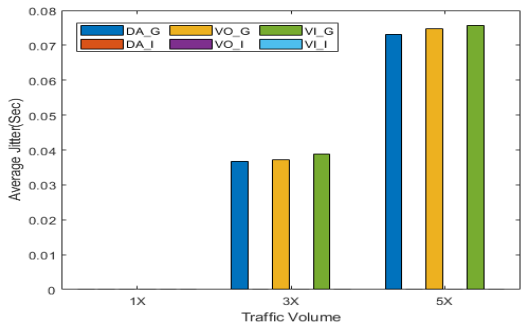


그림 8. 트래픽 유형별 평균 지연변이 (시나리오4)
Fig. 8. Average jitter by traffic type (Scn. 4)

나머지 시나리오들이 모두 유사한 지연 결과를 보였지만, 중요 서비스 트래픽에 대해서는 시나리오4, 즉 제한 QoS가 가장 우수하였다.

시나리오별 지연변이 측정 결과를 종합하면 표 3과 같다. 지연변이 또한 지연과 거의 유사한 경향적 결과를 확인할 수 있다. 시나리오2가 가장 좋지 않고, 시나리오4, 즉 제한 QoS가 가장 우수하였다.

통합구조에서의 시나리오별, 전달망별 사용율을 종합하면 표 4와 같다. 시나리오1과 3은 MBcN 단일망만 운용하므로 사실상 비교 대상이 아니다. 시나리오2

표 2. 평균 지연 시간 결과 종합
Table 2. Summary of average delay

General	Scn.1	Scn.2	Scn.3	Scn.4
1X(sec)	0.03	0.103	0.03	0.03
3X(sec)	0.0564	2.4540	0.0605	0.0615
5X(sec)	0.6355	3.9130	0.6986	0.6996
Important	Scn.1	Scn.2	Scn.3	Scn.4
1X(sec)	0.03	0.103	0.03	0.03
3X(sec)	0.03	2.4540	0.0402	0.0300
5X(sec)	0.6348	3.9131	0.2529	0.03

표 3. 평균 지연변이 결과 종합
Table 3. Summary of average jitter

General	Scn.1	Scn.2	Scn.3	Scn.4
1X(sec)	0.0000042	0.1500069	0.0000042	0.0000042
3X(sec)	0.0372887	0.2557960	0.0372887	0.0376220
5X(sec)	0.0745415	1.3731380	0.0745415	0.0745415
Important	Scn.1	Scn.2	Scn.3	Scn.4
1X(sec)	0.0000042	0.1500069	0.0000042	0.0000042
3X(sec)	0.0373918	0.2557960	0.0119451	0.0000042
5X(sec)	0.0745167	1.3731347	0.0244183	0.0000042

표 4. 시나리오별 전달망별 사용율
Table 4. Transports usage ratios by scenarios

Scenario Ratio	Scn.1			Scn.2			Scn.3			Scn.4		
	1X	3X	5X	1X	3X	5X	1X	3X	5X	1X	3X	5X
MBcN	30.5	93.1	100	28.2	84.7	100	30.5	93.1	100	30	82.1	100
M/W	0	0	0	18.2	54.7	100	0	0	0	0	72.1	100
Satellite	0	0	0	18.2	54.7	100	0	0	0	0	0	100

와 시나리오4의 비교에서 시나리오2가 보다 이중 통신망들을 고루 사용하고 있다.

5.2 데모 실험 결과

본 논문에서는 네트워크 에뮬레이터를 활용한 간단한 데모 실험을 통해, M&S 실험의 결과를 재검증하고 시각화한다. 이 실험에서는 그림 9와 같이 MBcN, M/W망, 위성망을 iTrinegy 네트워크 에뮬레이터를 통해 구현하고, Keysight사의 N2X를 사용하여 트래픽을 생성한다.

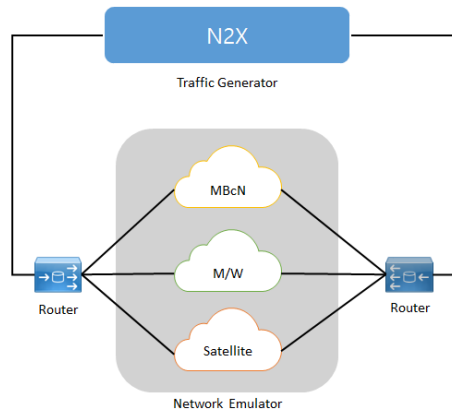


그림 9. 에뮬레이터를 활용한 실험 구조
Fig. 9. Experimentation Structure using emulator

본 실험은 앞서의 M&S 실험에서의 4개 시나리오 중 시나리오2 (MPTCP QoS)와 시나리오4 (제한 QoS)를 비교한다. 본 실험은 이종 전달망 통합구조에서의 QoS 정책에 초점을 맞추는데, 시나리오1과 시나리오3은 단일망 활용 시나리오이기 때문이다.

본 실험은 일정량의 백그라운드 트래픽 상에 동영상 트래픽을 추가 발생시키는 방식으로 수행하였다. 그림 10은 수신측에서 측정된 제안 QoS와 MPTCP QoS의 처리량 변화이다. 트래픽이 일정한 경우 처리량의 변화가 크다면 전달망 또는 QoS 정책이 불안정한 것으로 해석 가능하다. 제안 QoS에 비해 MPTCP QoS의 처리량 변화가 매우 크다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 평균 지연에 대해서는 M&S 실험에서와 동일한 결과를 보였다. 상세 내용은 생략한다. 다음은 수신측에서 측정된 시퀀스 에러이다.

시퀀스 에러는 수신 패킷의 시퀀스 번호가 기댓값과 다른 경우 카운트되며, 이는 패킷의 리오더링 또는 패킷 손실을 의미한다. 제안 QoS는 MPTCP QoS에 비해 시퀀스 에러 또는 시퀀스 에러의 변화가 거의 없다는 것을 확인할 수 있다. 제안 QoS는 MPTCP QoS

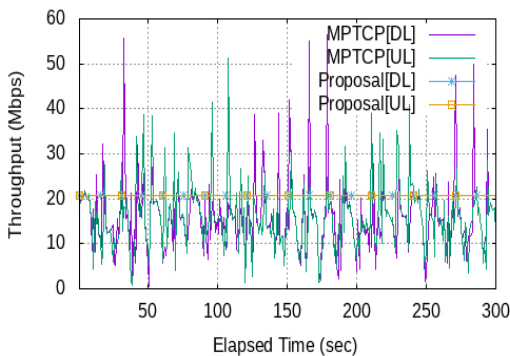


그림 10. 수신 측에서 측정된 처리량
Fig. 10. Throughput at the receiving node

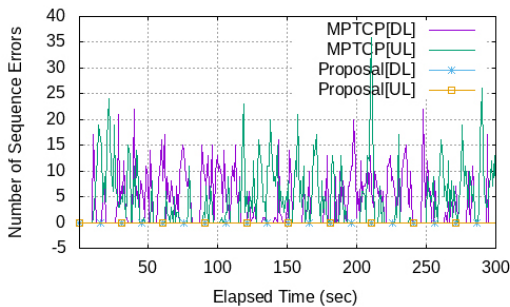


그림 11. 수신 측에서 측정된 시퀀스 에러
Fig. 11. Sequence error at the receiving node

에 비해 처리량, 지연, 지연변이, 그리고 시퀀스 에러 등 실험에서 사용한 모든 지표에서 우수한 결과를 보였다.

이종망으로 구성된 통합 전달망에서 MPTCP QoS를 적용하여 다중경로로 트래픽을 분산 전송하는 경우, 전체 지연은 가장 느린 전달망에 의존하게 되고, 가장 느린 전달망에 트래픽이 몰릴 경우 지연변이가 증폭될 수 있다. 그리고 MPTCP는 TCP의 전송제어 알고리즘을 적용하므로, 수신 측의 큐에서 패킷의 순서를 맞추는 과정을 거친다. 이 과정에서 큐의 길이가 충분하지 못하거나 오랜 지연이 발생하여 큐가 가득 차게 되면, 큐를 비우는 동작이 일어나는데 이 때 패킷 손실이 발생하게 된다. 본 논문은 이러한 지연, 지연 변이, 패킷 손실을 본 실험에서 보여진 MPTCP 동영상 트래픽의 품질 저하의 원인으로 분석한다. 그리고 이러한 전달망별 지연 특성은 물리적 특성으로서 극복이 어렵거나 불가능하므로, 본 논문은 음성전화 또는 화상회의와 같이 지연 또는 지연변이에 특히 민감한 서비스의 경우 제안 QoS와 같이 MPTCP의 이점을 포기하고 단일 전달망을 사용하도록 하는 것이 타당한 접근인 것으로 판단한다.

추가로 트래픽 생성기 (N2X)를 그림 12와 같이 스트리밍 서버와 클라이언트로 대체하여 동영상 전송 및 재생 데모를 실시하였다.

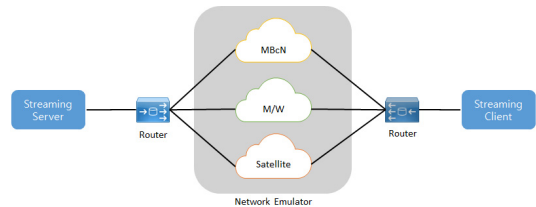


그림 12. Demonstration Structure using emulator
Fig. 12. 에뮬레이터를 활용한 시현 구조



그림 13. MPTCP-QoS 시현 화면 캡처
Fig. 13. Snapshot of the MPTCP QoS demo

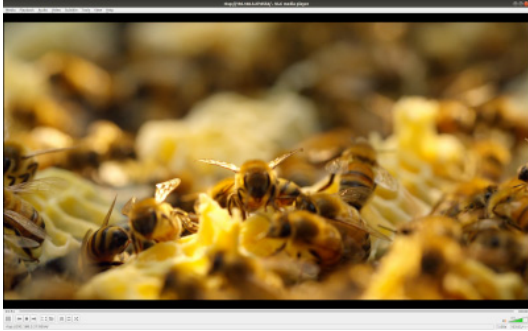


그림 14. 제안 QoS 시현 화면 캡처
Fig. 14. Snapshot of the proposed QoS demo

스트리밍 서버와 클라이언트는 VLC를 사용하고, 실제 화상회의 트래픽 모델 (20Mbps, CBR)과 유사한 동영상 트래픽을 RTSP (Real Time Streaming Protocol)를 사용하여 스트리밍 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

제안 QoS가 MPTCP QoS에 비해 좋은 품질의 영상을 제공 가능하다는 것을 눈으로 확인할 수 있다.

VI. 결 론

민간의 경우 비용 및 관리 효율 등을 목적으로 단일망 구성의 전달망 구축이 선호되나, 군 전달망은 생존성 향상 및 확보를 위하여 반드시 다양한 유형의 통신망들로 이중화 구축되어야 한다. 또한 민간의 경우 QoS를 적용하는 대신 충분한 대역폭 확보를 추구하기도 하지만 군의 경우 동적으로 전달망 환경이 변화할 수 있으므로, 그에 대해 적시에 유연하게 대응할 수 있도록 QoS 정책 적용이 필수적이다. 본 논문은 다수의 이중 전달망들에 대한 통합구조를 제안하였으며, 그에 적합한 것으로 판단되는 QoS 정책을 개발하여, 기존의 몇 가지 QoS 정책들과의 비교 실험을 통해 검증하였다. 그리고 그 결과로서 다음과 같은 결론들을 도출할 수 있었다.

첫째, 이중 통신망 통합을 통해 얻을 수 있는 대역폭 향상 효과는 크지 않다. MBcN 대비 M/W망과 위성망의 대역폭은 상대적으로 작거나 매우 작기 때문이다. 하지만 그 효과가 전혀 없는 것은 아니며, 주망에서 예비망으로의 절체 시 걸리는 시간을 없앨 수 있다는 것은 매우 큰 이점이다. 둘째, 이중 전달망 통합 운용 시 전체 전달망의 품질을 저하시킬 수 있다. 작게나마 대역폭 증가 효과를 얻을 수 있지만, 지연 또는 지연변이로 인해 그 효과가 상쇄되거나 오히려 손해가 더 클 수 있다. 특히 음성전화 또는 화상회의의

경우 다중경로 전송이 바람직하지 못하다. 셋째, 적절한 QoS 정책 적용을 통해 긍정적 효과를 극대화하고 부정적 효과를 최소화하는 것이 가능하다. 본 논문의 제안 QoS 정책 대부분이 긍정적 효과를 거두는데 기여한 것으로 실험을 통해 분석되었으며, 보다 정교한 QoS 정책을 적용한다면 그 효과를 더 높일 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 한국군의 이중 전달망 통합이 그 자체로는 의미가 없으며 적절한 QoS 정책이 반드시 적용되어야 한다는 판단이다. 본 논문에서 제안한 QoS 정책은 그 필요성과 타당성을 보이기 위한 목적으로 매우 단순하게 개발된 것으로 후속 연구를 통해 지속적으로 발전될 필요가 있다.

References

- [1] S. Lee, Y. Kim, and S. Kang, "Military-BcN requirements and architecture for NCW," *J. KICS*, vol. 26, no. 3, pp. 52-59, Feb. 2009.
- [2] M. Han and B. Ahn, "Performance improvement direction of fixed communication system for integrated operation," *KIDA Defense Weekly*, no. 1709(18-8), Feb. 2018.
- [3] K. Kwon, H. Jeng, W. Lim, Y. Yoon, S. Kim, and S. Lee, "QoS enhancement based on link quality in tactical data link of KVMF," *J. KICS*, vol. 39, no. 2, Feb. 2014.
- [4] A. Ford, C. Raiciu, M. Handley, and O. Bonaventure, "TCP extensions for multipath operation with multiple addresses," IETF RFC6824, 2013.
- [5] C. Lee and S. Song, "Optimal multipath TCP offloading over 5G NR and LTE networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 8, pp. 293-296, 2018.
- [6] F. Fu, X. Zhou, T. Dreiholz, K. Wang, F. Zhou, and Q. Gan, "Performance comparison of congestion control strategies for multi-path TCP in the NORNET testbed," in *2015 ICC*, 2017.
- [7] DoD CIO, "Unified capabilities requirements (UCR) 2013," Jul. 2013.
- [8] J. Youn, Y. Lim, and Y. Kim, "Improving transmission in association with the distance for military microwave communications," *J. KICS*, vol. 39, no. 11, pp. 1042-1049, Nov. 2014.

[9] R. Goyal, S. Kota, R. Jain, S. Fahmy, B. Vandalore, and J. Kallaus, "Analysis and simulation of delay and buffer requirements of satellite ATM networks for TCP/IP traffic," OSU Technical Report, Oct. 1998.

[10] ITU-T, Geneva, Switzerland, ITU-T Rec. G.711, "Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies," Nov. 1988.

[11] ITU-T, Series, H. "Audiovisual and Multimedia Systems; Infrastructure of audiovisual services -Coding of moving video. H. 264. Advanced video coding for generic audiovisual services," Version 12, 2007.

노 병 희 (Byeong-hee Roh)



1998년 2월 : KAIST 전자공학과 박사
 1989년 3월~1994년 2월 : KT 연구원
 1998년 2월~2000년 2월 : 삼성 전자 연구원
 2014년 3월~2015년 2월 : ADD 객원연구원

2000년 3월~현재 : 아주대학교 교수
 <관심분야> 이동멀티미디어통신, 사물인터넷, 국방 전술통신네트워크, 네트워크보안
 [ORCID:0000-0003-2509-4210]

박 규 동 (Gyudong Park)



1994년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업
 1996년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사
 2014년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사
 1996년 3월~현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야> C4I, 가상화, 클라우드, 네트워크

김 의 국 (Euikook Kim)



2008년 2월 : 인제대학교 정보통신공학과 석사
 2008년 1월~현재 (주) 넷비전텔레콤 재직
 <관심분야> 통신공학, SDN, Cloud Computing, Edge Computing

이 규 민 (Gyu-min Lee)



2014년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2016년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석사
 2016년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 인지무선네트워크, 사물인터넷, 소프트웨어정의네트워킹, 전술통신네트워크

[ORCID:0000-0002-6384-795X]

류 동 국 (Dong Kuk Ryu)



1994년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업
 1996년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사
 2010년 8월 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사
 1996년 3월~현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야> 전술 네트워크, SDN, 클라우드, C4I