

전송효율성 극대화를 위한 DTN 성능 가속 및 병목구간 패킷손실 최소화 방안

박종선¹, 노민기^{2*}

¹한국과학기술정보연구원 선임연구원, ²한국과학기술정보연구원 책임연구원

Method on DTN Performance Acceleration and Packet Loss Minimization for Transfer Efficiency Maximizing

Jong-Seon Park¹, Min-Ki Noh^{2*}

¹Senior Researcher, Korea Institute of Science and Technology Information

²Professional Researcher, Korea Institute of Science and Technology Information

요 약 Science DMZ는 종단간 전송효율성 극대화를 위해 전용네트워크, DTN, 최소한의 보안정책과 같은 복합적인 요소를 고려한 네트워크 구조이다. 그리고 Science DMZ의 고대역폭의 전용네트워크를 충분히 활용하기 위해서는 DTN 튜닝이 필수적인 요소이다. 아울러 네트워크 병목구간으로 인한 패킷손실을 최소화하기 위해 네트워크 시스템의 튜닝이 병행적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 Science DMZ 네트워크 구조에서 전송효율성 극대화를 위한 데이터 전송 노드 및 네트워크 시스템 튜닝 방법에 대해 제안한다. 국가과학기술연구관을 이용한 성능측정결과 DTN 튜닝 후 네트워크 성능이 튜닝을 하지 않을 것과 비교해 180% 성능향상을 보였다. 아울러 shaping 정책을 적용한 네트워크 시스템 튜닝 후 성능측정결과 손실 없이 9.4Gb/s의 성능을 보였다.

주제어 : Science DMZ, 전용네트워크, DTN, 보안정책, DTN 튜닝, 네트워크 시스템 튜닝

Abstract Science DMZ is a network architecture that considers complicated network components such as dedicated network, DTN, and minimum security policy to maximize transfer efficiency. And DTN tuning is an essential component to take full advantage of Science DMZ's available bandwidth. In addition, tuning of network system should be performed concurrently to minimize packet loss due to network bottleneck. In this paper, we propose a tuning method of data transfer node and network system for maximizing transfer efficiency in Science DMZ network architecture. As a result of the performance measurement using the KREONET, the network performance after the DTN tuning shows 180% improvement than that of existing method without DTN tuning. In addition, performance of 9.4Gb/s was shown without loss of performance measurement after tuning network system applying shaping policy.

Key Words : Science DMZ, DTN, DTN tuning, Network system tuning, Shaping

1. 서론

최근 네트워크 기술 및 전송시스템의 급격한 발전으로 인해 사용자의 전송성능에 대한 기대 수준도 크게 증

가하고 있다. 특히 물리입자실험을 위한 가속기 실험을 수행하는 고에너지 물리 연구커뮤니티, 거대 망원경을 통해 관측 데이터를 수집하는 천체/우주 커뮤니티, 슈퍼컴을 활용해 기상데이터의 분석 및 시뮬레이션 데이터를

*Corresponding Author : Min-Ki Noh(mknoh@kisti.re.kr)

Received September 11, 2018

Accepted November 20, 2018

Revised October 1, 2018

Published November 28, 2018

생산하는 기상/기후 커뮤니티와 같은 분야는 거대과학데이터를 기반으로 연구자간의 협업 연구가 빈번하다.

하지만 실질적으로 연구자가 얻는 전송성능은 빈약한 수준이다. 지금껏 이에 대한 주요원인은 TCP(Transmission Control Protocol)를 기반으로 한 전송응용에서 찾을 수 있다. TCP는 특성상 패킷손실로 인한 성능의 감소가 크다. 따라서 기존 연구들에서는 네트워크 상태를 가능한 빠르게 예측하고 패킷손실을 최대한 줄임으로써 성능을 높이는 기법들이 주를 이룬다[1-3]. 또한 여러 개의 스트림을 이용해 동시에 패킷을 전송함으로써 가용대역폭을 최대한 점유하기 위한 병렬전송기법에 대한 연구가 활발히 진행되었다[4,5]. 병렬전송은 여러 개의 전송 채널을 통해 동시에 패킷을 전송함으로써 전송 지연 시간을 제거함으로써 상대적으로 높은 전송효율성을 얻을 수 있다. UDP(User Datagram Protocol) 기반 데이터 전송프로토콜은 TCP를 대체할만한 수준의 전송효율성을 보인다[6-8]. UDP는 TCP와는 다르게 전송에 대한 신뢰성을 보장하지 않는 반면 연속적인 전송이 가능해 상대적으로 높은 전송효율성을 보인다. UDP 기반 전송프로토콜은 이러한 UDP 특성을 기반으로 응용계층에서 TCP의 전송신뢰성을 별도로 구현함으로써 높은 전송효율성과 전송에 대한 안정성을 제공한다. 하지만 이러한 연구들은 특정 네트워크 환경을 고려해 설계되었기 때문에 어떠한 이유로 네트워크 혼잡이 발생하거나 패킷손실이 있는 환경에서는 전송효율성을 보장하지 못하는 문제가 있다.

Science DMZ는 전용네트워크, DTN(Data Transfer Node), 기관 내부의 최소한의 보안정책 등 복합적인 접근을 통해 전송효율성을 극대화한다[9-13]. Science DMZ는 거대 과학데이터를 전송하기 전용네트워크로 연결되며 가용대역폭의 점유율을 최대한 높이기 위해 DTN의 활용이 중요한 역할을 한다. DTN을 통한 전송효율성 향상은 스토리지 연계, 전송도구, DTN 튜닝을 통해 가능하다. 특히, Science DMZ 전용네트워크 대역폭이 10Gb/s 이상인 것을 고려하면 DTN 튜닝은 필수적인 요소라 할 수 있다. DTN 튜닝은 CPU governor, NIC 튜닝, 인터럽트 어피니티, 소켓버퍼 등 다양한 요소를 통해 가능하다. 하지만 DTN 튜닝이 되었다할지라도 중간 네트워크 병목구간으로 인해 성능이 감소할 수 있다. 즉 중간 구간에서의 혼잡이나 어떠한 이유로 인해 패킷 손실이 발생했을 경우 전송효율성은 급격하게 감소하게 된다. 따라서

DTN 튜닝과 더불어 네트워크를 구성하는 네트워크 시스템에서도 튜닝이 병행되어야 전송효율성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 DTN과 네트워크 시스템의 튜닝을 통한 전송효율성 극대화 방안에 대해 제안한다. DTN의 경우 CPU governor, NIC 튜닝, 인터럽트 어피니티, 소켓버퍼 튜닝을 통한 성능향상방안에 대해 제안한다. 네트워크 시스템 튜닝의 경우 패킷손실을 최소화하기 위한 shaping 정책 적용방안에 대해 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전송효율성 극대화를 위한 시스템 튜닝 요소에 대해 기술한다. 3장에서는 종단간 전송성능 극대화를 위한 DTN 튜닝 및 네트워크 시스템 튜닝방안에 대해 제안한다. 4장에서 국가과학기술연구망을 활용한 성능평가에 대해 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 튜닝요소 기술을 통한 성능극대화

Science DMZ 네트워크 구조에서는 전송효율성을 극대화하기 위한 전용네트워크를 구축한다. 최근에는 10Gb/s에서부터 100Gb/s 전용네트워크의 사용이 빈번하다. 이러한 고대역폭 네트워크 환경에서는 가용대역폭 활용률을 극대화하여 전송효율성을 높이는 것이 주요 이슈가 된다. 그리고 전송효율성을 높이기 위해 DTN 활용이 매우 중요하다.

고대역 네트워크 환경을 제공하는 Science DMZ 네트워크 구조 환경에서는 DTN 튜닝은 전송효율성 극대화를 위한 필수 요구사항이다[14,15]. DTN 튜닝은 시스템의 기본 설정값을 인위적으로 변경하여 보다 공격적인 전송이 가능하게 한다. 이러한 DTN 튜닝 요소에는 바이오스, 펌웨어, 디바이스 드라이버, 레이드 구성, 네트워크 인터페이스카드, 파일시스템, TCP 소켓버퍼, TCP 혼잡제어 알고리즘, 점보프레임설정 등 매우 다양한 요소를 통해 가능하다.

하지만 궁극적인 전송효율성 개선을 위해서는 DTN 튜닝과 함께 네트워크 병목구간에서의 패킷손실을 고려해야 한다. 중간 네트워크 구간에서 혼잡이나 어떠한 이유로 인해 패킷손실이 발생할 경우 전송효율성을 급격하게 감소하게 된다. 이는 대부분 전송 응용이 TCP를 사용하는 것에서 원인을 찾을 수 있다. TCP는 전송메커니즘 특성상 패킷손실에 매우 민감하게 반응하며 매우 작은

손실률에도 전송성능을 급격하게 감소하게 된다. 따라서 전송 효율성을 높이기 위해서는 패킷손실을 최소화하는 것이 매우 중요한 이슈이다. 중간 병목구간의 패킷손실은 네트워크 시스템 튜닝을 통해 제거할 수 있다. DTN 튜닝이 중단간 시스템을 고속 네트워크에 대응하여 상대적으로 공격적인 전송을 통해 전송효율성을 높이는 방안이라고 하면 네트워크 튜닝은 패킷손실을 최소화함으로써 전송효율성을 높이는 방안이라 할 수 있다. 네트워크 시스템 튜닝은 전송시스템이나 스위치, 라우터에서 정책 설정을 변경함으로써 가능하다. 네트워크 시스템에서 설정 가능한 정책은 일반적으로 policing과 shaping이 있다. policing과 shaping 모두 대역폭을 제한하는 방법이다. policing은 임의의 대역폭을 기준으로 임계값을 설정하고 임계값을 초과하는 패킷에 대해 드롭정책을 적용한다. 하지만 shaping은 별도의 버퍼를 두어 임계값을 초과하더라도 패킷을 드롭시키지 않고 버퍼에 저장한 후 처리한다. 따라서 shaping은 policing에 비해 상대적으로 패킷손실의 크기를 감소시킬 수 있고 전송효율성을 획기적으로 개선할 수 있는 방안이다.

3. DTN 성능가속 및 패킷손실 제거를 위한 튜닝방안

이번 장에서는 Science DMZ 네트워크를 고려한 고속 네트워크에서 전송효율성을 극대화를 위한 시스템 튜닝 방안에 대해 제안한다. 시스템 튜닝은 네트워크 가용대역폭의 최대한 활용을 위한 DTN 튜닝과 중간 네트워크 병목구간에서의 패킷손실 방지를 위한 네트워크 시스템 튜닝에 대해 제안한다.

3.1 DTN 튜닝을 통한 성능 가속

DTN을 튜닝하는 것은 시스템이 최대의 성능을 발휘할 수 있도록 특정 하드웨어나 소프트웨어 그리고 커널을 포함한 운영체제의 설정을 변경하는 것을 의미한다. 일반적인 값으로 설정된 값을 변경하여 네트워크 대역폭을 최대한 활용할 수 있는 값으로 인위적으로 변경하는 과정으로 간주할 수 있다. 이러한 DTN 튜닝 요소에는 바이오스, 펌웨어, 디바이스 드라이버, 레이드 구성, 네트워크 인터페이스카드, 파일시스템, TCP 소켓버퍼, TCP 혼잡제어 알고리즘, 점보프레임설정 등 매우 다양한 요

소를 포함한다. 본 논문에서는 고대역의 Science DMZ 환경에서 전송효율성을 극대화할 수 있는 DTN 튜닝 요소 기술에 대해 제안한다.

바이오스 튜닝의 경우 하이퍼쓰레딩을 비활성화하고 CPU frequency scaling을 비활성화시킴으로써 가능하다. 하이퍼쓰레딩은 CPU가 동시에 여러 개의 스트림을 처리할 수 있도록 하는 것이다. 하지만 하이퍼쓰레딩을 비활성화하고 하나의 스트림에 집중하면 CPU 로드를 분산시키지 않고 특정 작업에 집중시킴으로써 최대 성능을 얻을 수 있다.

레이드는 여러 개의 저장장치에 데이터를 분산하여 저장하는 방법이다. 레이드는 레벨에 따라 데이터를 분산시키는 다양한 방법이 존재하며 레벨 수준에 따라 저장장치의 신뢰성을 높이거나 성능을 높이는 방안으로 활용될 수 있다. raid 0은 오류검사를 수행하지 않는 대신 저장장치에 파일을 분산해 저장하기 때문에 매우 기록속도를 보인다.

NIC(Network Interface Card) 경우 네트워크 대역폭이 10Gb/s에서 100Gb/s로 급격하게 증가함에 따라 필수적인 튜닝요소이다. 네트워크 대역폭이 클수록 IRQ(Interrupt request) 가급격하게 증가하게 되며 네트워크 프로토콜 데이터 처리 및 사용자 공간의 데이터 복사가 증가하게 된다. 이러한 원인으로 인해 네트워크 NIC과 스토리지 간의 병목구간이 발생하게 된다. 이러한 병목을 해결하기 위해 NIC의 링버퍼 크기를 변경해주어야 한다. NIC 링버퍼의 크기는 기본적으로 256바이트로 설정되어 있으며 이를 시스템이 지원하는 가장 큰 값으로 변경해 주어야 한다.

점보프레임은 한 번에 전송될 수 있는 패킷의 최대 크기 즉, MTU(Maximum Transmission Unit)의 크기를 의미한다. MTU 기본 설정 값은 1,500바이트로 설정되어 있지만 고대역폭 네트워크 환경에서는 최대 설정 가능한 9,000 바이트로 설정한다. 점보프레임 설정 시 주의해야 할 사항은 DTN, 네트워크 시스템 등 모든 구성 요소에 대해 점보프레임 설정을 해 주어야 한다. 만약 어떠한 시스템에서 점보프레임 설정이 되지 않았다면 점보프레임 설정이 적용되지 않는다.

일반적으로 시스템에서 시스템 성능을 향상시키기 위해 하드웨어의 인터럽트를 분산하여 처리한다. 즉, IRQ(Interrupt Request)를 공평하게 혹은 순차적으로 분산시킴으로써 전반적인 시스템 성능을 높일 수 있다. 하

지만 DTN의 경우 전송효율성을 극대화하기 위해서는 인터럽트를 특정 네트워크 인터페이스 카드에 할당해 주어야 한다. 따라서 irqbalance 커맨드를 사용해 특정 프로세스에 대한 특정 코어를 할당해주는 별도의 작업이 수반되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 주요 DTN 튜닝 요소를 인위적으로 설정함으로써 네트워크 대역폭을 최대한 활용할 수 있는 방안을 제안한다. 아울러 DTN 튜닝 요소에 대한 설정 값은 데이터 전송거리와 대역폭 즉, 네트워크 환경에 따라 최적화된 값으로 설정되어야 한다.

3.2 네트워크 시스템 튜닝을 통한 패킷 손실 최소화

네트워크 시스템 튜닝의 경우 유입되는 트래픽을 어떻게 제어하느냐에 따라 패킷손실을 최소화할 수 있다. 일반적으로 네트워크 시스템에서의 트래픽을 제어하는 방법에는 policing과 shaping 두 가지 방법이 있다. policing과 shaping 모두 트래픽을 제한하는 방법이다. policing은 유입되는 트래픽이 특정 임계값을 초과할 경우 초과 패킷에 대해 드롭(drop)하는 방식을 의미한다. 이러한 policing을 정책을 사용할 경우 policing 정책이 적용될 때마다 지연(delay)이 발생하지 않는 특징이 있다. 또한 특정 크기의 버퍼 공간이 필요하지 않고 메모리를 필요로 하지 않기 때문에 자원 낭비가 없다. 하지만 패킷 드롭으로 인한 패킷손실률이 크다. 반면 shaping은 유입되는 트래픽이 특정 임계값을 초과하는 경우 드롭하지 않고 임의의 버퍼에 담아 저장하고 후에 처리하는 방법이다. shaping을 사용하면 패킷손실은 방지할 수 있지만 지연이 발생할 수 있고 실시간 트래픽 처리 시 영향을 줄 수 있다.

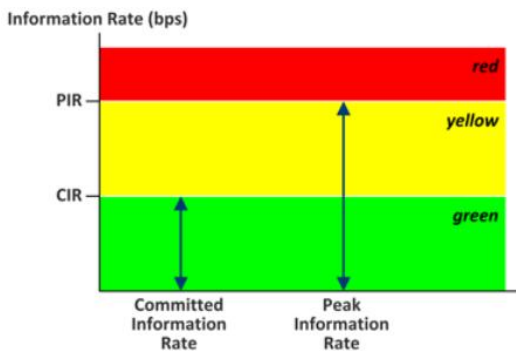


Fig. 1. Rate control according to traffic

Fig. 1은 트래픽 유입에 따른 레이트 제어를 도식하여 나타낸다. 그림에서 PIR(Peak Information Rate)과 CIR(Committed Information Rate)은 레이트 제어를 위한 특정 임계값을 나타낸다. CIR은 서비스 제공자와 사용자 간의 계약된 대역폭을 의미하며 서비스 제공자는 사용자에게 패킷손실 없이 대역폭을 제공해야함을 의미한다. PIR은 혼잡이 발생하지 않는 수준에서 대역폭을 보장해야하는 임계값을 나타낸다. 즉, PIR까지 대역폭은 보장되 혼잡이 발생할 경우 패킷손실은 발생할 수 있다. 그리고 PIR 값을 초과하는 패킷에 대해서는 드롭시킨다.

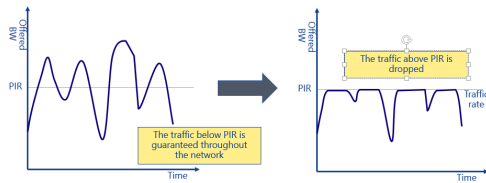


Fig. 2. Packet drop based on policing

Fig. 2는 policing의 패킷 드롭 정책을 간략한 그림으로 도식하여 나타낸다. policing은 PIR이하의 대역폭을 보장한다. 하지만 PIR을 초과하는 패킷에 대해서는 드롭시키는 정책을 사용한다. 만약 중단간 데이터를 전송함에 있어 중간 네트워크 시스템에서 policing 정책을 적용한다면 패킷손실로 인해 전송효율성이 급격하게 감소하는 원인이 된다.

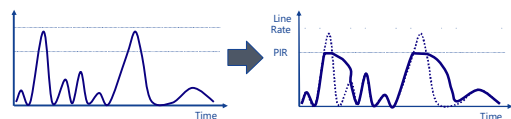


Fig. 3. Packet process delay based on shaping

Fig. 3은 shaping 정책을 도식하여 나타낸다. shaping은 policing과 다르게 PIR을 초과하는 패킷을 바로 드롭시키지 않고 임의의 버퍼공간에 저장한다. 버퍼공간에 임시로 저장된 패킷은 우선순위가 높은 패킷을 처리한 후 순차적으로 처리된다. shaping 정책을 적용하기 위해서는 별도의 버퍼공간과 버퍼공간에 저장된 패킷 처리에 있어 지연이 발생할 수 있다. 하지만 shaping 정책을 통해 패킷손실을 방지하거나 최소화할 수 있는 것이 큰 특

정이다.

본 논문에서는 중간 네트워크 구간에서의 패킷손실을 최소화하기 위해 네트워크 시스템에서의 shaping 정책을 적용하는 것을 제안한다.

4. 성능평가 및 분석

이번 장에서는 데이터 전송 노드 및 네트워크 시스템 튜닝 적용에 따른 네트워크 성능을 측정하고 분석한다.

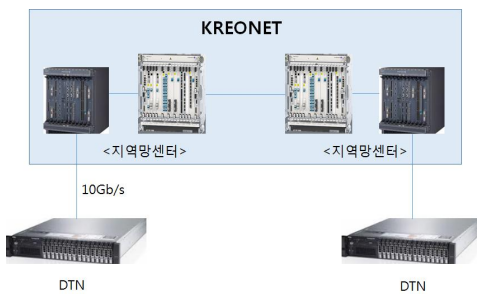


Fig. 4. Network environment to test

네트워크 성능측정을 위해 Fig.4와 같이 KISTI에서 운영 중인 KREONET에 연계된 네트워크 시스템과 기관의 DTN을 이용하여 성능을 측정한다. 성능측정을 위한 네트워크 대역폭과 DTN은 10Gb/s 링크로 연결된다.

성능측정은 먼저 DTN 튜닝 여부에 따른 성능을 측정하고 이후 네트워크 시스템 튜닝 여부에 따른 성능을 측정한다. 성능측정을 위해 사용된 DTN 규격은 Table 1과 같다.

Table 1. DTN specification to test

| System | 기관 1 | 기관 2 |
|------------|---|---|
| cpu | Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2697 v2 @2.7Ghz | Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2697 v2 @2.7Ghz |
| Memory | 32G | 64G |
| NIC | 10G | 10G |
| NIC Driver | ixgbe(intel) | Miri10ge(myricom) |

Fig. 5는 DTN 튜닝 여부에 따른 성능을 비교하여 나타낸다. 튜닝을 하지 않은 경우의 성능은 대략적으로 4.5Gb/s에서 5.5Gb/s 사이의 성능결과를 보인다. 10Gb/s

네트워크 대역폭인 점을 고려하면 대략 50% 정도의 가용대역폭 활용률을 보인다 할 수 있다. 이 경우에는 DTN 튜닝을 통해 보다 공격적인 전송기법 적용이 필요하다. DTN 튜닝을 한 경우의 성능은 대략적으로 7.8Gb/s에서 9.9 사이의 성능이 측정됨을 확인할 수 있다. 이 경우에는 가용대역폭을 충분히 활용함을 알 수 있다. 하지만 성능이 증가하다가 감소하는 것을 반복하는 것으로 보아 패킷손실로 인한 성능감소를 확인할 수 있다.

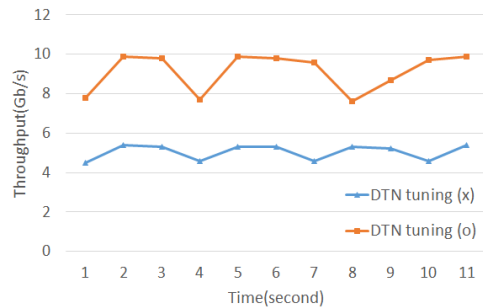


Fig. 5. Throughput result according to DTN tuning

Table 2는 DTN의 주요 튜닝요소에 대한 설정 값을 정리하여 나타낸다.

Table 2. The value of DTN tuning parameter

| Tuning Element | Value | Initial Value |
|--------------------------|--|---------------|
| Hyper-Threading | turn off | enabled |
| NIC Ring Buffer | 4,096Byte | 512Byte |
| MTU | 9,000Byte | 1,500Byte |
| IRQ balance | stop | enabled |
| net.core.rmem_max | 67,108,864 | |
| net.core.wmem_max | 67,108,864 | |
| net.ipv4.tcp_rmem | 4096(min) 87380(average) 33554432(max) | |
| net.ipv4.tcp_wmem | 4096(min) 87380(average) 33554432(max) | |
| net.ipv4.tcp_congestion | htcp | |
| net.ipv4.tcp_mtu_probing | enabled | |

패킷손실을 제거하기 위해서는 네트워크 시스템 튜닝이 병행적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서 제안하는 방안은 네트워크 시스템 즉, 라우터에서 shaping 정책을 적용함으로써 패킷손실을 제거하는 것이다. 그리고 shaping 정책은 라우터의 outbound 포트에 적용한다. 본 논문에서는 shaping을 네트워크 대역폭의 95%로 설정하

였다. 즉, 네트워크 대역폭의 95%를 초과하는 패킷을 드롭시키지 않고 처리함으로써 패킷손실을 방지할 수 있다. Fig. 6은 네트워크 시스템 튜닝 후의 각 구간의 성능을 도식하여 나타낸다. 성능측정결과 각각의 구간 성능에 대해 9.4Gb/s 성능을 확인할 수 있다. 그리고 종단간 성능 또한 9.4Gb/s의 성능이 측정됨을 결과를 통해 확인할 수 있다. 이는 패킷손실을 제거한 결과로 판단할 수 있다.

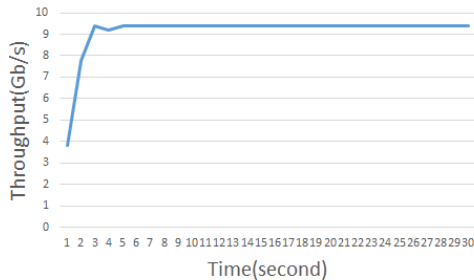


Fig. 6. Throughput result based on network system tuning

5. 결론

거대 과학데이터를 생산하는 연구커뮤니티의 경우 데이터의 전송효율성은 매우 중요한 이슈이다. Science DMZ는 전용네트워크, DTN, 기관 내부의 최소한의 보안 정책 등 복합적인 관점에서 전송효율성 개선을 위한 혁신적인 네트워크 구조이다. 이러한 Science 즉 네트워크 구조에서 가용대역폭 활용률을 최대한 높이기 위해서는 DTN 튜닝이 필수적으로 적용되어야 한다. 아울러 중간 네트워크 병목구간에서의 패킷손실을 제거해야 전송효율성의 극대화가 가능하다.

본 논문에서는 10Gb/s 급이상 100Gb/s의 고대역폭의 네트워크 환경에서 가용대역폭을 최대한 높이기 위한 하이퍼쓰레드, NIC, 스토리지, 인터럽트, TCP 소켓퍼퍼와 같은 주요 튜닝요소 설정방안에 대해 제안하였다. 아울러 병목구간에서의 패킷손실 제거를 위해 네트워크 시스템에서의 shaping 정책 적용방안에 대해 제안하였다. 제안기법을 통해 패킷손실이 없는 네트워크 환경에서 DTN 성능을 최대한 가속화시킴으로써 전송효율성 극대화가 가능하다.

성능측정결과 튜닝 후 성능이 튜닝을 하지 않은 경우

의 성능과 비교해 180%로 획기적으로 개선됨을 확인하였다. 아울러 네트워크 시스템에서의 shaping 정책 적용 시 패킷 재전송 없이 네트워크 대역폭을 95%까지 활용가능함을 성능측정을 통해 확인하였다.

향후 연구에서는 대륙간 100G 네트워크 대역폭이 연동된 환경에서 전송효율성 극대화를 위한 DTN 튜닝 방안에 대한 검증이 추가적으로 필요하다. 아울러 네트워크 대역폭 대비 최대 디스크 기록속도를 높일 수 있는 방안에 대한 연구를 추가적으로 할 계획이다.

REFERENCES

- [1] D. Kliazovich, F. Granelli, & D. Miorandi. (2008). Logarithmic window Increase for TCP westwood+ for improvement in high speed, long distance networks, *Computer Networks*, 52(12), 2395-2410.
- [2] K. Mesmin, J. Mbyamm & J. Zhang. (2016). Improved implementation of TCP-vegas method in interchanges of satellite links. In *Proceeding of International Conference on Computer Science and Network Technology*.
- [3] J. A. Arokiam, W. Xiuchao, K. N. Brown, & C. J. Ireland. (2014). Experimental evaluation of TCP performance over 10Gb/s passive optical networks(XG-PON), in *Proc. of GLOBECOM*, 2223-2228.
- [4] M. A. Alrshah & M. Othman. (2013). Performance evaluation of parallel TCP, and its impact on bandwidth utilization and fairness in high-BDP networks based on test-bed, in *Proc. of 2013 Malaysia International Conference on Communications(MICC)*, 23-28.
- [5] H. Park, S. Lee & Y. Shin. (2012). High-speed Transmission and Control Plan on High-definition Video File using Parallel TCP, in *Proc. of ICACT'12*, 1205-1208.
- [6] M. Masirap, M. H. Amaran, Y. M. Yussoff, & H. Hashim. (2016). Evaluation of reliable UDP-based transport protocols for Internet of Things (IoT), in *Proc. of ISCAIE*, 200-205.
- [7] Q. Liu, N. Rao & C. Q. Wu. (2016). Measurement-based performance profiles and dynamics of UDT over dedicated connections, in *Proceeding of international Conference on Network Protocols*.
- [8] M. Meiss. (2009). Tsunami: a high-speed rate-controlled protocol for file transfer, www.evl.uic.edu/eric/atp/TSUNAMI.pdf.
- [9] E. Dart, L. Rotman & B. Tierney. (2013). The science DMZ: a network design pattern for data-intensive

science, in Proc. of SC'13.

- [10] I. Monga, E. Pouyoul & C. Guok. (2012). Software-Defined Networking for Big-Data Science - Architectural Models from Campus to the WAN, SC Companion: *High Performance Computing, Networking Storage and Analysis*.
- [11] K. Jutawongcharoen, V. Varavithya, K. Lekdee, A. Chaichit & T. Sribuddee. (2016). The implementation of the UniNet's research DMZ, *International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*.
- [12] I. Monga, E. Pouyoul, C. Guok. (2012) Software-Defined Networking for Big-Data Science - Architectural Models from Campus to the WAN, SC Companion: High Performance Computing, Networking Storage and Analysis.
- [13] S. Kim & J. Yang. (2017). Work-in-progress: improving NVMe SSD I/O determinism with PCIe virtual channel, in *Proceeding of International Conference on Compilers, Architectures and Synthesis For Embedded Systems*.
- [14] S. A. Valcourt. (2018). Major Factors in Science DMZ Deployment at Small Institutions, in *Proc. of Practice and Experience on Advanced Research Computing*.
- [15] A. Abdelsalam, C. Roseti, F. Zampognaro & N. Patriciello. (2018). TCP Wave estimation of the optimal operating point using ACK trains, *International Symposium on Networks, Computers and Communications*.

박 종 선(Park, Jong Seon) [정회원]



- 2009년 2월 : 조선대학교 전자공과 (공학사)
- 2012년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2015년 8월 : 전북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2015년 8월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 관심분야 : 대용량데이터전송프로토콜, Science DMZ, 무선네트워크, 센서네트워크
- E-Mail : jspark@kisti.re.kr

노 민 기(Noh, Min Ki) [정회원]



- 1998년 2월 : 공주대학교 기계공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 공주대학교 영상매체학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터교육학과(공학박사)
- 2010년 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원
- 관심분야 : 대용량데이터전송프로토콜, Science DMZ, 네트워크성능향상, 통신공학, 차세대네트워킹
- E-Mail : mknoh@kisti.re.kr