

가상 네트워크를 위한 우선순위 기반 자원 할당 알고리즘

김학서*, 이상호**

한국전자통신연구원 RnD사업화실*, 충북대학교 소프트웨어학과**

Priority-Based Resource Allocation Algorithm for Virtual Network

Hak-Suh Kim*, Sang-Ho Lee**

Technology Commercialization Division, ETRI*

Dept. of Software, Chungbuk National University**

요 약 인터넷의 경직성으로 인하여 다양한 서비스를 제공하기 어려운 문제를 해결하기 위한 가장 효과적인 방법 이 네트워크 가상화 방안이다. 공통의 물리 네트워크 자원을 공유하는 가상 네트워크를 효율적으로 생성하기 위해서 는 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 필요하다. 이러한 한정된 물리 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 본 논문에서는 사용중인 자원이라도 더 높은 서비스 우선순위를 갖는 가상 네트워크에 할당하는 방법을 제안한다. 높은 우선순위의 네트워크 생성 요청을 위하여 운용중인 낮은 우선순위의 가상 네트워크에서 효율적으로 대역폭을 회수하 는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 대역폭 할당 알고리즘은 낮은 우선순위를 갖는 가상 네트워크에서 서비스 지속성 을 유지하면서 할당된 대역폭을 회수할 수 있다. 제안한 알고리즘의 실험을 통하여 약 8%정도의 가상 네트워크 생 성 수락률의 향상을 확인하였다.

주제어 : 가상 네트워크, 자원할당, 대역폭 할당, 자원회수, 대역폭 회수

Abstract Due to the ossification of the Internet, it is difficult to accommodate variety services. One of the efficient solution to this problem is network virtualization. It allows multiple parallel virtual networks to run on the shared physical infrastructure. It needs new resource allocation mechanism to share efficient physical resources. In this paper, we present efficient bandwidth allocation algorithm for virtual network request with high service priority. Our proposed algorithm can withdraw allocated bandwidth from low-level priority virtual network and maintain low-level virtual network service. We evaluated the performance of our proposed algorithm using simulation and found the improvement of approximately 8% acceptance rate.

Key Words : Virtual Network, Resource Allocation, Bandwidth Allocation, Resource Withdraw, Bandwidth Withdraw

1. 서론

1970년대에 소개된 인터넷의 폭발적인 성장으로 많은 분야에서 인터넷을 사용하고 있다. 그러나, 오랜 기간 사 용된 인터넷은 내재된 경직성(ossification)으로 인하여

새로운 네트워크의 진화와 발전에 걸림돌이 되고 있다. 특히나, 미래 인터넷을 위한 패러다임 중 가장 중요한 것 은 새로운 서비스를 수용할 수 다양성을 제공하는 것이 다. 그러나, 현재의 인터넷은 이러한 다양성을 제공하기 힘든 구조를 가지고 있다. 이러한 인터넷의 경직성 문제

Received 31 August 2016, Revised 29 September 2016
Accepted 20 October 2016, Published 28 October 2016
Corresponding Author: Sang-Ho Lee
(Chungbuk National University)
Email: shlee@cbnu.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

를 해결하고자 하는 방안 중에 훌륭한 대안이 바로 네트워크 가상화(Network Virtualization)이다[1,2].

네트워크 가상화는 물리 네트워크(Substrate Network)의 자원을 논리적으로 분할하여 여러 개의 독립된 네트워크 서비스를 제공한다. 네트워크를 가상화하면, 가상 네트워크(Virtual Network)마다 다양한 프로토콜을 사용하여 다양한 통신 서비스를 제공할 수 있다. 이렇게 함으로써 현재의 네트워크 구조를 변경하거나 개선하지 않고도 새로운 형태의 서비스를 제공할 수 있다[3,4,5].

가상 네트워크가 많은 장점을 가지고 있지만, 실제 서비스를 생성하기 위해서는 해결해야 할 문제가 존재한다. 네트워크 가상화를 위하여 가상 네트워크의 가상 노드는 물리 네트워크의 물리 노드에 대응하고, 가상 링크는 물리 링크에 대응하여야 한다. 또한 이 대응된 가상 노드와 가상 링크에 실제 자원을 할당하는 과정이 필요하다. 가상 네트워크의 요구조건을 만족시키면서 가상 네트워크를 물리 네트워크에 할당하는 문제는 NP-hard 문제로 정의된다[6,7,8].

지금까지 가상 네트워크를 위한 물리 네트워크의 자원 할당을 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 아직까지 완벽한 서비스를 위한 자원 할당은 이루어지지 않고 있는 상황이다[9].

본 논문에서는 물리 네트워크에 가상 네트워크를 생성할 때 자원 할당을 위한 기존 연구를 분석하고, 이를 기반으로 동적 자원 할당을 위한 자원 할당 방안을 제안한다. 모든 자원은 유한함으로 가상 네트워크를 위하여 사용하다 보면 자원의 고갈 현상이 나타나고, 이러한 자원 고갈 상황속에서는 새로운 가상 네트워크 생성 요구를 수용할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 가상 링크의 대역폭 자원을 효율적으로 사용하여 이용율을 극대화하기 위하여 가상 네트워크의 서비스 우선순위 개념을 도입한다. 자원 고갈 상황에서 우선순위가 높은 새로운 가상 네트워크 생성 요구가 오면, 기존 사용 중인 가상 네트워크 중에서 우선순위가 낮은 네트워크를 선택하여 자원 즉 효율적으로 대역폭을 회수하는 방안을 제안하고 실험을 통하여 효율성을 분석한다.

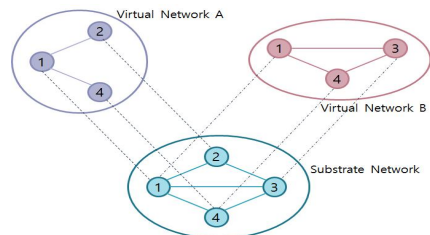
이를 위하여 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구와 관련있는 연구를 분석하고, 3장에서 본 논문에서 제안하는 네트워크 시스템 구조와 알고리즘을 기술한다. 4장에서 시뮬레이션을 통하여 제안 알고리즘

과 네트워크 시스템의 효율성을 증명하고, 마지막으로 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구

지금까지 가상 네트워크 분야의 연구 방향은 여러 프로바이더간에 통신을 위한 인터페이스, 네트워크 연결성 확보를 위한 시그널링, 자원 정보 수집, 물리 노드 및 경로에 대하여 가상 노드와 링크를 위한 자원 할당, 자원 스케줄링, 보안 등 가상 네트워크에서 물리적인 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방안에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[1,10,11,12,13].

네트워크 가상화 분야에서는 전통적인 인터넷과 같은 물리 네트워크를 관리하는 인프라 스트럭처 제공자(Infrastructure Providers : InPs)와 가상 네트워크를 관리하는 서비스 제공자(Service Providers : SPs)로 구분된다. 서비스 제공자가 다양한 종류의 가상 네트워크를 서로 독립적으로 생성하고 관리 가능하게 하는 것이 가상 네트워크이다. 이렇게 함으로써 물리 인프라 자원을 효율적으로 이용할 수 있다. 즉, 가상 네트워크는 물리적인 네트워크의 자원을 공유한다. 그러나 이들 가상 네트워크는 서로 간에 독립적으로 동작한다. 자원 발견과 할당은 새로운 가상 네트워크를 만들 때 반드시 수행해야 하는 기본 과정이다. 자원 발견은 가상 네트워크 제공자가 물리 인프라 스트럭처의 가용한 자원을 찾는 단계이다. 자원 할당 전에 자원정보를 수집하고 있어야만 새로운 가상 네트워크를 생성할 수 있다. 이와 같은 자원 정보 수집은 주기적 혹은 이벤트가 발생할 때마다 수행된다[14,15]. 자원 할당은 가상 노드 혹은 가상 링크로 사용되는 물리 요소의 자원을 할당하는 과정을 의미한다[16]. 간단한 가상 네트워크 구조는 [Fig. 1]과 같다.



[Fig. 1] Simple Virtual Network Example

지금까지 연구된 가상 네트워크 자원 할당 방안을 구조적인 측면에서 분석하면 중앙집중형 구조와 분산형 구조로 구분할 수 있다[16]. 중앙집중형 구조를 갖는 연구가 많은 주류를 이루고 있으며, 대표적으로 [8]의 연구가 있다. [8] 연구에서, 저자는 물리 네트워크의 자원을 가상 네트워크에 효율적이고 on-demand하게 할당하기 위하여 VNA-I와 VNA-II 방안을 제안하고 있다. 물리 노드에 대한 혼잡 발생을 최소화하기 위하여 노드와 링크의 스트레스 즉 부하를 관리하고 있다. 물리 노드의 선택시 부하가 가장 작은 것을 선택하고, 링크도 부하가 가장 적은 것을 선택한다. 또한, 네트워크 토폴로지가 점점 커지면 전체적으로 부하 분산이 된 경로를 선택하기 어려움으로 토폴로지를 작게 나누어 최적의 경로를 찾는 방법도 제안하고 있다. 자원 할당 연구의 근간을 이루는 논문은 노드와 링크의 자원이 무한하다고 가정하고 있는 것이 단점이다.

분산형 구조를 갖는 방안의 대표적인 연구는 [17]이다. [17]에서 저자는 물리 노드와 링크에 가상 노드 및 가상 링크를 맵핑하고 부하 분산을 위하여 분산 형태의 알고리즘을 제안하였다. 중앙 집중식 자원 할당 방식의 문제점을 개선하기 위하여 에이전트(Agent)를 두어 분산 환경에서 정보 교환 및 통신을 위한 에이전트간의 통신 프로토콜을 제안하였다. Virtual Network Mapping 프로토콜을 이용하여 에이전트간의 통신 기능을 수행하고, 에이전트 서로 간에 메시지를 교환하여, 자원을 할당하는 구조이다. 전체 토폴로지를 스타 클러스터(hub-and-spoke cluster) 형태로 작게 나누어 매핑의 복잡성과 효율성을 향상시켰다. 루트 노드로 선택된 노드가 선택과 매핑을 주관하고, 다른 루트 노드들과 통신 및 정보 교환을 수행한다. 본 연구는 분산 구조이므로 분산된 에이전트간의 동기화 문제로 인하여 알고리즘의 복잡도가 증가하는 경향이 있다.

중앙 집중형 구조와 분산형 구조는 각각의 장단점이 존재한다. 중앙 집중형 구조는 자원 할당을 하나의 노드에서 수행하기 때문에 빠르고, 네트워크 전체 측면에서 가장 효과적인 자원 할당이 가능하다. 그러나 장애 발생에 취약하다는 단점이 있다. 반면에 분산형 구조는 장애 등에 강하여 네트워크의 생존성을 극대화할 수 있다. 그러나, 분산 노드간에 자원 정보를 공유해야 함으로 정보 교환을 위한 오버헤드가 발생한다.

유한한 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 효과적으로 자원 할당이 수행되어야 한다. 자원 할당 방식은 주로 정적 자원 할당과 동적 자원 할당으로 연구되어 왔다. 정적 자원 할당 방식은 가상 네트워크 생성 초기에 자원 할당을 수행하고 서비스 중에는 자원에 대한 어떠한 변화도 없는 방식이다. 이에 반해, 동적 자원 할당 방식은 가상 네트워크 생성 후에도 지속적인 모니터링과 자원 정보에 대한 갱신을 통하여 보다 더 효율적으로 자원을 사용할 수 있다[18].

동적 자원 할당 방식을 사용하기 위해서는, 할당된 자원과 네트워크에 대한 지속적인 모니터링과 최신 자원 정보를 수집하고, 이를 반영한 새로운 할당이 이루어져야 한다. [19]에서는 트래픽을 분할할 수 있다는 가정하에 가상 링크를 재구성한다. 이를 위하여 재구성 알고리즘이 주기적으로 네트워크를 점검하여 과부하가 걸린 물리 네트워크의 링크를 알아내어 새로운 경로를 만들고 과부하가 걸린 링크내에서 가상 링크의 분할을 갱신한다. 분할된 경로상으로 트래픽 전송은 링크의 분할율에 따라 전송된다. [20]에서는 물리 네트워크의 링크 장애가 발생했을 때, 가상 네트워크의 자원을 재설정하는 문제를 연구하였다. 물리 노드는 하나의 가상 네트워크 요청만을 수용하는 것으로 설정하고 자원을 할당하도록 하였다.

지금까지의 분석과 같이 정적 자원 할당의 문제점을 개선하기 위하여 다양한 동적 자원 할당 방안의 연구가 많이 진행되고 있다[21,22,23]. 그러나 연구된 방안들은 자원의 과부하를 회피하여 가용 자원이 있는 링크를 사용할 수 있도록 하는 것에 중점을 두고 있다.

본 논문에서는 할당할 자원이 부족할 때, 새로운 가상 네트워크 생성 요청이 있는 상황에서 효과적으로 서비스 하고 자원 이용율을 극대화할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

3. 재할당 가능한 대역폭 할당 알고리즘

본 논문에서는 가상 네트워크를 생성하기 위하여 사용되는 자원 즉 대역폭을 동적으로 재할당하여 사용하기 위한 시스템 구조와 우선순위 기반의 대역폭 할당 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방안은 대역폭

자원이 부족한 상황에서도 기존의 할당된 가상 네트워크 중에서 필요한 자원을 회수하여 새로운 높은 우선순위의 가상 네트워크 생성요청에 활용할 수 있다.

3.1 문제 정의

본 논문의 물리 네트워크는 다음과 그래프로 정의 가능하다. 물리 네트워크는 $G_s = (V_s, E_s)$ 로 표현된다. V 는 네트워크의 물리 노드를 의미하고, E 는 네트워크의 물리 링크를 의미한다. 가상 네트워크는 $G_v = (V_v, E_v)$ 로 정의할 수 있다. 가상 네트워크 생성을 위한 식은 다음 수식(1)과 같다.

$$V_v \subseteq V_s, E_v \subseteq E_s, R_v \subseteq R_s \text{ 인 경우}$$

$$f(M) : G_v(r) \rightarrow G_s(r) \quad (1)$$

<Table 1> Definition of Variable

Terms	Definition
V_s	Set of nodes belonging to the physical network
E_s	Set of links belonging to the physical network
R_s	Set of resources belonging to the physical network
V_v	Set of nodes belonging to the virtual network
E_v	Set of links belonging to the virtual network
R_v	Set of resources belonging to the virtual network
B	Bandwidth of link
U	Total Utilization
$p = (i, j)$	$(i, j) \in E$ is the link from node i to node j

물리 네트워크를 SN, 가상 네트워크를 VN이라고 정의하면, 생성되는 가상 네트워크는 $VN_k \subseteq SN$ 이다.

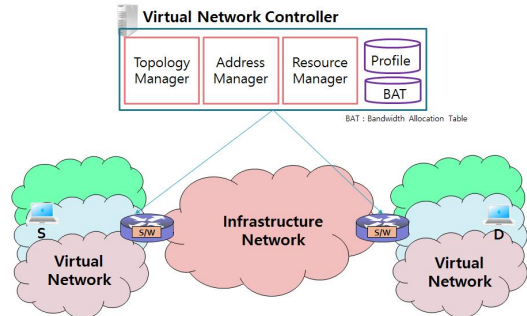
$$\max \sum_k B(VN_k(p)) \leq \sum B(SN(p)) \quad (2)$$

$$\max \sum_k U(VN_k) \approx 1 \quad (3)$$

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 수식(2), (3)과 같이 가상 네트워크의 대역폭을 효율적으로 관리하여 대역폭 이용율을 최대화하는 것이다. 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 새로운 시스템 구조를 제안하고, 자원이 부족한 상황에서도 대역폭 이용율을 극대화하기 위하여 우선 순위 기반의 대역폭 할당 알고리즘을 제안한다.

3.2 제안 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 시스템 구조는 다음 [Fig. 2]와 같다.



[Fig. 2] Proposed System Architecture

제안하는 시스템 구조는 가상 네트워크의 효율적인 자원 관리를 위하여 중앙집중형 구조로 가상 네트워크 제어기(Virtual Network Controller)를 중심으로 한다. 가상 네트워크 제어기는 가상 네트워크 생성에 관련된 프로파일(profile) 정보를 이용하여 가상 네트워크를 생성한다. 물론 이 프로파일 정보는 네트워크 외부의 정보 서버를 이용하여도 획득가능하다. 가상 네트워크 제어기는 전체 망의 형상 정보, 주소 관리 및 자원 관리 기능을 수행한다. 이 제어기는 토폴로지 관리자, 주소 관리자 및 자원 관리자 등 3개의 주요 컴포넌트로 구성된다.

3.2.1 토폴로지 관리자(Topology Manager)

토폴로지 관리자는 물리 네트워크의 형상을 파악하여 전체 물리 네트워크의 토폴로지의 변경을 관리한다. 파악된 망 형상을 기반으로 가상 네트워크에게 가상 노드와 가상 링크를 제공한다. 물리 네트워크의 물리 노드와 링크의 속성(attributes)을 파악하기 위하여 기존 연구 논문에서 사용하는 Neighbor Discovery Protocol등을 이용한다.

3.2.2 주소 관리자(Address Manager)

토폴로지 관리자에서 파악된 물리 네트워크의 형상에 가상 네트워크 제어기의 정책에 따라 주소를 할당하는 기능을 수행한다. 물리 네트워크에서 사용하는 물리 링크에 IP주소를 할당하고 관리한다. 또한, 가상 네트워크

의 가상 링크에도 IP주소를 할당한다. 그리고, 물리 네트워크와 가상 네트워크간 IP 주소의 매핑 관계를 유지한다.

3.2.3 자원 관리자(Resource Manager)

자원 관리자는 주기적으로 자원 정보를 수집한다. 가상 네트워크별로 사용 대역폭 정보를 수집하여 대역폭 할당 테이블(BAT: Bandwidth Allocation Table)에 링크별, 가상 네트워크별 사용정보를 유지한다.

새로운 가상 네트워크 생성 요구가 들어오면, 자원 관리자는 BAT를 확인하여 가용 자원이 존재할 때 가상 네트워크를 생성한다. 만일 자원이 부족한 경우는 요청된 서비스의 우선순위를 확인하여 우선순위에 따라 생성 요청의 수용여부를 결정한다.

만일, 신규 가상 네트워크 생성 요청의 서비스 우선순위가 높으면, 서비스 중인 가상 네트워크 중에서 우선순위가 낮은 네트워크를 찾아내어, 이 네트워크로부터 자원을 회수한다. 이렇게 회수한 자원을 우선순위가 높은 가상 네트워크에 할당하여 신규 요청을 서비스 가능하도록 한다.

3.3 자원 할당 알고리즘

본 제안 시스템 구조에서는 사용하는 우선순위 기반 노드 매핑 알고리즘을 다음 Algorithm 1에 기술한다.

Algorithm 1 Priority-Based Node Mapping Algorithm

```

1: Receive virtual network creation request message
2: Check service priority
3: Classify virtual network creation request
4: Add requests to high priority queue or low priority queue
5: if ( high priority queue )
6:   take one request with high priority
7:   find substrate node for request
8: else
9:   take one request with high priority
10:  find substrate node for request
11: endif
    
```

Algorithm 1에서 제안한 노드 매핑 알고리즘은 기본적으로 탐욕 알고리즘(Greedy Algorithm)으로 동작한다. 초기에 가상 네트워크 생성 요구를 수신하고, 서비스 우선순위를 기반으로 서로 다른 서비스 큐에 요구 메시지를 넣는다. 우선순위가 높은 큐에 존재하는 가상 네트워

크 생성 요구를 먼저 처리함으로 높은 우선순위를 갖는 가상 네트워크 생성 요구를 우선적으로 서비스할 수 있다.

본 제안 시스템 구조에서는 사용하는 기본 대역폭 할당 알고리즘은 다음 Algorithm 2에 기술한다.

Algorithm 2 Basic Bandwidth Allocation Algorithm

```

1: Receive virtual network creation request message
2: Check service priority and requested bandwidth(bw)
3: if (available bw - requested bw) > shared bw
4:   goto step 6
5: else goto step 9
6: if (requested bw < available bw)
7:   accept: update BAT
8: else
9:   if ( (priority == high) && (reallocate == ON) )
10:    compute requested withdraw bw
11:    restore available bw
12:    perform bw withdraw algorithm(Algorithm 3)
13:    goto step 6
14:   else
15:    reject or best effort service
16: endif
    
```

자원을 할당하기 위하여 들어온 요청을 분석하여 서비스 우선순위와 요청 대역폭을 확인한다. BAT를 확인하여 가용한 대역폭이 있는 경우는 생성 요청을 정상적으로 서비스한다. 그러나, 가용 대역폭이 부족한 경우는 서비스 우선순위를 기반으로 가상 네트워크 생성 요청 수락 여부를 결정한다. 우선순위가 높고(high), 타 가상 네트워크로부터 대역폭을 회수할 수 있는 경우, 필요한 대역폭을 계산하여 우선순위가 낮은 가상 네트워크로부터 필요한 만큼의 대역폭을 회수하는 알고리즘을 수행한다.

본 논문에서 효과적인 대역폭 회수를 위하여 사용하는 알고리즘을 Algorithm 3에 기술한다.

Algorithm 3 Basic Bandwidth Withdraw Algorithm

```

1: Find the lowest priority virtual network
2: Find (bw of virtual network > requested bw)
3: Pick the virtual network
4: Calculate the number of flows currently in use
5: Compute  $\lambda$  = requested withdraw bw / no. of flow
6: do
7:   withdraw  $\lambda$  from flow
8: while ( flow )
    
```

Algorithm 3에서 제안하는 회수 알고리즘은 가상 네

트위크의 모든 플로우들로부터 동일한 량의 대역폭을 회수하는 알고리즘이다. 서비스 우선순위가 낮으며, 회수하려는 대역폭보다 더 많은 대역폭이 할당되어 있는 가상 네트워크를 찾아낸다. 이 네트워크에서 트래픽 전송중인 플로우 수를 세어, 각 플로우별로 회수해야 하는 대역폭(λ)를 계산한다. 이후 모든 플로우로부터 λ 만큼 대역폭을 회수하여 이를 신규 가상 네트워크 요청에 할당하는 방안이다.

Algorithm 3은 가장 낮은 서비스 우선순위의 가상 네트워크의 각 플로우들로부터 동일한 양의 대역폭을 회수함으로 회수의 공평성 측면에서는 단점이지만, 알고리즘의 복잡도가 낮은 장점이 있다. 이런 공평성 문제를 해결하기 위하여 가상 네트워크에서 가장 많은 대역폭을 사용하는 플로우를 찾아서 가장 많은 대역폭을 회수하는 방안도 가능하다. 그러나 본 논문에서는 Algorithm 3과 같은 기본 대역폭 회수 알고리즘을 이용한다.

본 논문에서 제안하는 대역폭 할당 알고리즘은 자원이 부족한 상황에서 높은 우선순위의 가상 네트워크 생성 요청을 위한 자원 회수가 가능한 방안으로, 이렇게 회수한 자원을 신규 생성 요청에 활용함으로 가상 네트워크의 서비스 이용율을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다.

4. 실험 및 평가

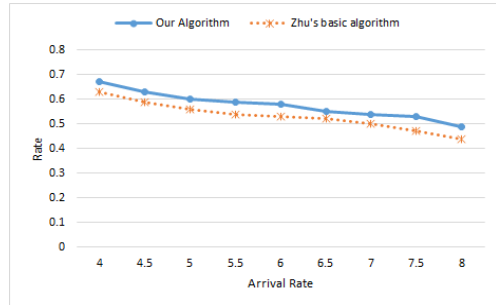
제안한 가상 네트워크를 위한 대역폭 할당 알고리즘의 효율성을 평가하기 위하여 [8]논문의 실험 환경으로 제안한 알고리즘을 실험한다. 또한 제안 네트워크 시스템에서 네트워크 트래픽 전송 시뮬을 위하여 NS2 시뮬레이터를 이용하여 실험 및 평가를 수행한다.

[8] 논문에서와 같이 제안 알고리즘 실험을 위한 물리 네트워크를 구성하였다. 각 노드들간의 링크는 랜덤하게 연결된다. 가상 네트워크 생성 요구는 랜덤하게 최대 10 개를 생성하도록 설정하였다.

본 논문에서 제안하는 대역폭 할당 알고리즘의 성능을 [8] 논문의 기본 알고리즘과 비교하였다.

[Fig. 3]에 제안 알고리즘의 서비스 수락률(acceptance rate)을 나타내었다. [8] 논문의 기본 제안 알고리즘의 수락률보다 성능이 향상됨을 확인 할 수 있었다. Zhu's 기본 알고리즘 대비 약 6~10% 정도의 수락율이 향상되었

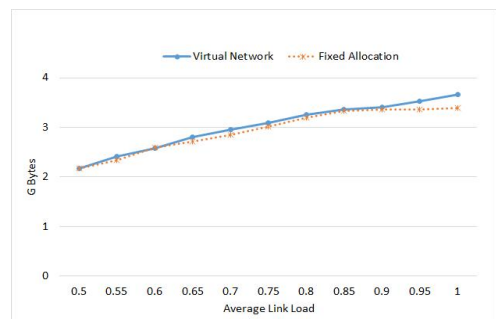
다. 일반적으로 우선순위가 높은 네트워크의 특성이 대역폭을 많이 요구하지 않고 긴급한 메시지등을 전송하는 경우, 더 좋은 성능 향상을 가질 것으로 판단된다.



[Fig. 3] Acceptance Rate

본 논문에서 제안 네트워크 시스템의 트래픽 전송 성능을 시험하기 위하여 100Mbps 링크를 갖는 10개의 가상 네트워크를 생성하고, 10,000 사용자가 트래픽 전송하는 것을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 트래픽을 전송하는 소스 노드와 목적지 노드는 랜덤하게 선택한다. 본 트래픽 전송 시험의 비교를 위하여 국방 광대역 전략 통신망과 같이 고정 대역폭을 갖는 네트워크를 가정하여 실험하였다.

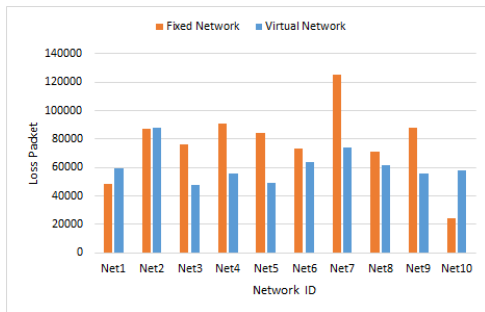
[Fig. 4]에 고정 네트워크와 가상 네트워크의 트래픽 전송 시험 결과를 나타내었다. 링크의 평균 부하가 증가하여도 고정 네트워크 대비하여 안정적으로 트래픽을 전송함을 확인할 수 있다. 평균 링크 부하가 0.9~1.0이 되는 구간에서는 가상 네트워크에서 처리하는 트래픽 량도 증가함을 확인 할 수 있었다. 전체 트래픽 전송률 측면에서 고정 네트워크 대비 최대 8% 정도의 성능이 향상되었다.



[Fig. 4] Traffic Throughput

이와 같은 트래픽 전송 결과는 본 알고리즘에서 순간적인 트래픽 폭주에 대처하기 위하여 각 가상 네트워크가 공동으로 사용할 수 있는 공동 대역을 설정하기 때문인 것으로 분석되었다.

[Fig. 5]는 Average Link Load가 0.85인 경우의 네트워크 트래픽 시험시 패킷 로스에 관한 그래프이다.



[Fig. 5] Packet Loss (load=0.85)

[Fig. 5]에 나타난 바와 같이 각 네트워크별로 패킷 로스를 확인하면 가상 네트워크가 고정 네트워크 대비해서 패킷 로스가 약 15% 정도 적은 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 가상 네트워크를 생성하기 위하여 사용되는 자원 중 대역폭을 동적으로 재할당하여 사용하기 위한 시스템 구조와 우선순위 기반의 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 우선순위 기반의 노드 매핑 알고리즘과 대역폭 할당 알고리즘으로 구성된다. 제안 알고리즘들 중 자원의 유한성으로 재할당 가능하도록 할당된 대역폭을 일부 회수하여 새로운 가상 네트워크에 할당하는 대역폭 회수 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안한 알고리즘들을 시뮬레이션으로 평가하여 기존 논문에서 제안한 방안보다 좋은 성능을 확인하였다.

본 논문에서는 하나의 가상 네트워크에서만 필요한 대역폭을 회수하도록 가정하였다. 그러나, 가상 네트워크에 할당된 대역폭이 요구되는 대역폭보다 적은 경우는 여러 개의 가상 네트워크로부터 자원을 회수해야 한다. 따라서, 향후 여러 가상 네트워크로부터 대역폭을 회수하여 우선순위가 높은 가상 네트워크 생성 요구에 사용

할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 또한 노드 자원의 재할당 방안에 대한 추가 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] N. Chowdhury and R. Boutaba, "A survey of network virtualization," *Computer Networks (Elsevier)*, Vol. 54, No. 5, pp.862-876, 2010.
- [2] N. M. Mosharaf Kabir Chowdhury and R. Boutaba, "Network virtualization: State of the art and research challenges," *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 47, No. 7, pp. 20-26, 2009.
- [3] M. M. Alam Khan, N. Shahriar, R. Ahmed and R. Boutaba, "Multi-Path Link Embedding for Survivability in Virtual Networks," *IEEE Trans. on Network and Service Management*, Vol. 13, No. 2, pp.253-266, 2016.
- [4] A. Blenk, A. Basta, M. Reisslein, W. Kellerer, "Survey on Network Virtualization Hypervisors for Software Defined Networking," *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, Vol. 18, No. 1, pp.655-685, 2016.
- [5] Jung-Yul Choi, "A Study on Networking Technology for Cloud Data Centers," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 14, No. 2, pp.235-243, 2016.
- [6] Jeong-Kyung Moon, Han Jin Cho, Jin-Mook Kim, "A secure authentication system on wired wireless integrated network using OpenFlow," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 12, No. 4, pp.285-291, 2014.
- [7] Cheul-Woo Ro, "Modeling of Virtual Switch in Cloud System," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 11, No. 12, pp.479-485, 2013.
- [8] Y. Zhu and M. Ammar, "Algorithms for Assigning Substrate Network Resources to Virtual Network Components," *IEEE INFOCOM 2006*, pp.1-12, 2006.
- [9] Andreas Fischer, Juan Felipe Botero, Michael Till Beck, Hermann de Meer, Xavier Hesselbach, "Virtual Network Embedding: A Survey," *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, Vol. 15, No. 4, pp.1888-1906, 2013.
- [10] Seung-Joon Seok, Hyeonuk Jeong, "A Study on

- OpenFlow based Virtual Network Platform for KREONET,” Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 8, pp.309-319, 2014.
- [11] Jin-Woo Jung, Jungduk Kim, Myeong-Gyun Song, Chul-Gu Jin, “A study on Development of Certification Schemes for Cloud Security,” Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 8, pp.43-49, 2015.
- [12] Bo-Kyung Lee, “A Study on Security of Virtualization in Cloud Computing Environment for Convergence Services”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 5, No. 4, pp. 93-99, 2014.
- [13] Keun-Ho Lee, “Analysis of Threats Factor in IT Convergence Security”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 1, No. 1, pp. 49-55, 2010.
- [14] Yongho Kang, Changbok Jang, Wanjik Lee, Seokyeol Heo, Jooman Kim, “Efficient Method to Support Mobile Virtualization-based Cloud Resource Management,” Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 2, pp.277-283, 2014.
- [15] I. Houidi, W. Louati, D. Zeghlache, and S. Baucke, “Virtual Resource Description and Clustering for Virtual Network Discovery,” in Proc. IEEE ICC’09 Workshops, Dresden, Germany, pp.1-6, 2009.
- [16] A. Belbakkouche, Md. M. Hasan and A. Karmouch, “Resource Discovery and Allocation in Network Virtualization,” IEEE Comm. Surveys & Tutorials, Vol. 14, No. 4, pp.1114-1128, 2012.
- [17] I. Houidi, W. Louati, and D. Zeghlache, “A distributed virtual network mapping algorithm,” 2008 IEEE ICC, Beijing, China, pp.5634-5640, 2008.
- [18] A. Haider, R. Potter and A. Nakao, “Challenges in Resource Allocation in Network Virtualization,” 20th ITC Specialist Seminar, Vol. 20, pp.22-30, 2009.
- [19] Minlan Yu, Yung Yi, Jennifer Rexford and Mung Chiang, “Rethinking Virtual Network Embedding: Substrate Support for Path Splitting and Migration,” ACM SIGCOMM CCR, Vol. 38, Issue 2, pp.17-29, 2008.
- [20] Yu Yang, Shan-zhi Chen, Xin Li and Yan Wang, “RMap: An Algorithm of Virtual Network Resilience Mapping,” WiCOM2011, pp.1-4, 2011.
- [21] Xiaohui Wei, Shoufeng Hu, Hongliang Li, Fan Yang and Yue Jin, “A Survey on Virtual Network Embedding in Cloud Computing Centers,” The Open Automation and Control Systems Journal, Vol. 6, No. 1, pp.414-425, 2014.
- [22] Haotong Cao, Longxiang Yang, Zeyuan Liu, Mengting Wu, “Exact solutions of VNE: A survey,” China Communications, Vol. 13, No. 6, pp.48-62, 2016.
- [23] Hwi-Min Choi, Chang-Bok Jang, Joo-Man Kim, “Efficient Security Method Using Mobile Virtualization Technology And Trustzone of ARM,” Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 10, pp.299-308, 2014.

김 학 서(Kim, Hak Suh)



- 1999년 2월 : 충북대학교 전자계산학과(이학석사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 관심분야 : 네트워크 가상화, 네트워크 구조, 프로토콜
- E-Mail : tuple@etri.re.kr

이 상 호(Lee, Sang Ho)



- 1989년 2월 : 숭실대학교 대학원 전자계산학과(이학박사)
- 1981년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 소프트웨어학과 교수
- 관심분야 : 네트워크 프로토콜, 네트워크 보안
- E-Mail : shlee@cbnu.ac.kr