

고속 라우터 기술

주성순

한국전자통신연구원 교환·전송기술연구소
전화 : 042) 860-6333, 팩스 : 042) 860-5213

On the Technology for High-speed Router Design

Seong-Soon Joo

Switching and Transmission Lab., ETRI

TEL: 042) 860-6333, FAX: 042) 860-5213

Abstract

In this paper, we define the high-speed router as a router, which can support aggregated ports over 25Gbps, and provide issues and trends in high-speed router design. We propose design considerations on IP packet forwarding, switching fabric, packet scheduling and buffer management, network resource reservation, and router operation and administration.

I. 서론

인터넷의 성장율의 변곡점은 언제 나타날 것인가에 대한 질문은 현재의 인터넷 성장 속도로부터 추정하는 것은 어려운 일이다. 미국 ISP 들중 매년 100%의 성장율을 보고하는 곳도 있으며, 세계적으로 응답하는 도메인 수는 지난 96년 이후 매년 최소 50% 이상의 성장율을 보이고 있다. 우리나라의 경우에도 98년 경제 침체기를 제외하고, 올해 8월말 현재 1월초에 비하여 이미 56%의 성장을 기록하고 있으며, 이러한 추세가 계속 이어진다면 2002년경에 호스트의 수는 160만을 상회할 것으로 추산된다.

이처럼 급속도로 성장하는 인터넷을 지원하기 위한 기술의 발전은 새로운 전기를 맞이하고 있다. 수년 전까지만 하더라도 인터넷은 라우터의 처리 성능때문이라 아니라 전송선로가 제공할 수 있는 대역폭 때문에 네트워크의 성능이 제한되었었다. 그러나, 이제는 OC-48과 같은 2.5Gbps, 더 나아가 OC-192의 10Gbps까지 고속 전송기술이 보편화되고 있으며, 파장 분할 멀티프렉싱 기술(WDM)의 등장으로 인터넷 라우터 또는 스위치가 네트워크 처리성능을 제한하는 망 요소가 되었다.

또한 인터넷은 성장 속도뿐만 아니라 인터넷에서 제공하려는 서비스의 종류, 즉 서비스 품질의 다양화로 인터넷의 고속화이외에 새로운 프로토콜과 제어 방식을 요구하고 있다. 따라서, 차세대 라우터에 대한 고속화와 서비스 품질 다양화의 요구는 라우터 구성 요소 설계 기술에 변화가 필요하며, 라우터 기술 발전의 새로운 전기를 맞이하고 있다.

이 글에서는 고속 서비스 품질 보장형 라우터를 설계하기 위한 기술들을 라우터의 구성요소별로 살펴보고, 현재 진행중인 고속 라우터 개발 동향에 대해서 서술하며, 차세대 라우터 설계시 기술적 요구사항을 제안한다.

II. 라우터 구성요소

라우터는 입력측 링크로부터 출력측 링크로 IP (Internet Protocol) 패킷을 전달하는 기본 기능에 의하여 인터넷 네트워크 요소들을 연결시키는 장치이다. 라우터는 가정이나 SOHO 사업자들을 ISP 의 네트워크로 액세스시키는 access router, 교내망 이나 대규모 사업장의 컴퓨터들간을 연결하는 enterprise router, 장거리 전송로를 이용하여 ISP 들 간이나 대규모 사업체 네트워크를 연결하는 backbone router 등으로 구분된다. 특히 ISP 망의 경우, 가입자 트래픽을 backbone network 으로 연결하는 edge 라우터와 backbone network 을 구성하는 core 라우터로 구분한다.

라우터는 그림 1 과 같이 네트워크를 연결시키기 위하여 입력 포트, 출력 포트, 스위칭 패브릭, 라우팅 프로세서로 구성된다. 입력 포트는 여러 종류의 링크를 수용하며 데이터링크 계층의 프로토콜을 수행한 후, 프레임으로부터 IP 패킷을 추출하여 목적지 주소에 따라 forwarding table 을 검색한 후 출력 포트를 결정한다. 스위칭 패브릭은 입력 포트와 출력 포트간 패킷 교환을 수행하며, 일반적으로 bus, crossbar, shared memory 등이 사용되고 있다. 패킷 교환시 입력 포트와 출력 포트간 속도차이를 조절하기 위하여 IP 패킷의 큐잉이 필요하며 입력 포트에 큐잉하는 input-queued 방식과, 출력 포트에 큐잉하는 output-queued 방식이 있다. 출력 포트는 패킷을 전송하기 전에 저장하는 기능으로 패킷의 우선 순위에 따라 전송 순서를 결정하는 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 라우팅 프로세서는 인접 라우터 또는 전체 네트워크의 라우터들과 라우팅 프로토콜에 의해 수집한 경로 정보를 토대로 패킷 포워딩 테이블을 구성하고, 라우터의 운용관리 기능을 수행한다.

라우터 설계시 고려사항은 라우터의 사용 목적에 따라 달라진다. 액세스 라우터의 경우, SOHO 가입자나 중소기업을 ISP 망과 연결시키는 것이 주된 목적이므로, 액세스망 기술의 발전에 따라 변화한다. 액세스 라우터는 고속 모뎀, ADSL, 케이블 모뎀 등 다양한 액세스 기술을 수용하여야 하며, VPN 의 확산으로 SLIP 이

나 PPP 이외에 L2TP 와 IPsec 과 같은 새로운 프로토콜도 제공하여야 하고, 고속 액세스 포트 처리를 위하여 기존 처리 성능보다 100 배 이상 고속처리가 가능하여야 한다.

에지 라우터는 입출력 포트의 경제적인 수용과 다양한 서비스의 제공이 설계시 주요 고려사항으로 트렁크 라인의 수용과 형상관리의 단순화, 멀티캐스트 서비스와 음성 및 비디오 서비스가 수용 가능한 제어 구조, firewall 과 트래픽 필터링 등의 네트워크 운용 보안 기능 등을 제공하여야 한다.

코어 라우터는 ISP 네트워크를 연결하는 라우터이므로 신뢰성과 트래픽 처리 성능이 중요한 설계 사항이다. 신뢰성 향상을 위하여 전화망에서 교환기에 채용한 프로세서, 트래픽 경로, 전원 등 주요 부분의 이중화 기술이 필수적이다. 처리 용량 증가에 한계가 있는 기존 코어 라우터로 망 구성시 인터넷 트래픽 증가에 따라 라우터를 추가할 경우, 네트워크 액세스 포인트 (NAP) 라 불리우는 Inter eXchange Point (IXP) 의 구성이 복잡해 질 뿐만 아니라 라우터간 연동을 위한 대역폭 점유로 망 구성 비용이 증가하므로, 수 테라 이상의 대형 코어 라우터가 필요하다는 주장이 나오고 있다.[2]

III. 고속 라우터 설계기술

차세대 라우터의 특징은 폭증하는 인터넷 트래픽의 수용과 다양한 서비스 제공이며, 기존 라우터와는 다른 설계 기술이 필요하다. 라우터의 고속 대용량화에 관계된 설계 부분은 IP 패킷의 포워딩의 고속화, 내부 스위칭 패브릭의 고속대용화 관련 기술이며, 다양한 서비스 처리를 위한 설계 부분은 패킷 스케줄링, 버퍼 관리, 플로우 식별 및 망자원 제어, 쉽고 안정된 망 형상 관리, 파급 기술 등이다.

IP 패킷 포워딩 기술

IP 패킷 포워딩 기술은 IPv4 헤더의 처리와 어드레스의 라우팅 테이블 look-up 으로 구성된다. 특히 어드

래스 룩업은 IPv4 어드레스의 효율적인 사용을 위하여 채용된 가변 프리픽스 길이를 수용하여야 하므로 테이블 룩업의 최대 시간과 평균시간이 동시에 짧아야 하며, 라우팅 테이블의 업데이트 시간이 짧은 룩업 알고리즘과 구현 방법이 필요하다. 예를 들어 2.5Gbps 링크를 wire-speed로 처리하려 할 때 패킷의 평균 길이를 1Kbit로 가정할 경우, 2.5Mpps의 처리속도, 즉, 한 패킷당 400ns 내에 라우터에서 처리되어야 한다. 링크 속도가 더 높아지고, IP 패킷의 60% 이상이 64byte 이하인 것을 고려하면, 더욱 높은 IP 패킷의 포워딩 성능이 요구된다.

IP 패킷 포워딩을 고속화하는 방법은 IP 헤더의 ASIC 처리, 라우팅 테이블 룩업의 고속화 알고리즘 또는 하드웨어 방식 처리, 포워딩 엔진의 분산 또는 병렬화로 나뉘어 진다.[3]

고속 스위칭 패브릭 기술

코어 라우터의 포트 속도가 높아짐에 따라 내부 스위칭 패브릭의 처리 속도도 높아져야 하며, 예시 라우터의 경우 입출력 포트의 수가 많아짐에 따라 역시 대용량의 내부 스위칭 패브릭이 필요하게 되었다. 스위칭 패브릭 역시 기존 라우터의 주요한 한계 요소로서 bus 형태의 back-plane에서 스위치로 진화하였다. 스위치로는 shared memory, crossbar 등이 널리 사용되고 있으며, 하드웨어적으로 구현이 편리한 fixed cell 처리가 선호되고 있다. crossbar 스위치의 경우 내부 switching fabric의 동작 속도를 입력 포트의 배수만큼 높이지 않고도 non-blocking switching이 가능한 Virtual Output Queuing 방식의 Input-Queued 스위치가 제안되었다.[4]

패킷 스케줄링 및 버퍼 관리 기술

인터넷으로 다양한 서비스 품질의 트래픽을 통합 수용하려는 시도는 서비스 품질의 보장과 함께 네트워크 자원의 공평한 공유를 지원해야 하는 상반된 문제를 해결해야만 한다. 서비스 품질의 보장이 극도로 요구되는 서비스의 경우 다음 절과 같이 망 자원을 예약하는 방식이 필요하나, 그 이외의 경우 최대 품질을

보장하며 공평한 서비스가 제공되도록 패킷 스케줄링과 버퍼 관리 제어가 필요하다. 패킷 스케줄링 방식으로 First-In First-Out 보다는 Weighted Fair Queuing이 적합하며 복잡한 알고리즘의 간단한 구현이 주요 연구 과제이다. 버퍼 관리의 경우 제한된 버퍼내에서 시스템 내 latency와 패킷 손실을 최소화 하기 위한 과부하시 패킷 제거 알고리즘이 주요 문제이며, Random Early Discard 방식을 대부분의 라우터에서 채용하고 있다.[5]

망 자원 제어 기술

인터넷에서 IP 레벨의 connection-less 특성상 지연과 손실에 민감한 서비스에 네트워크 관점의 품질을 보장하기 쉽지 않다. 따라서, 인터넷의 단대단 자원 예약을 위한 새로운 프로토콜로 RSVP가 제안되었으며, 차별화된 품질을 제공하기 위하여 트래픽을 감시하고 제어하는 DiffServ 서비스가 제안되었다. 이와 같은 서비스를 라우터에서 지원하기 위하여 해당 프로토콜의 채용은 물론, 망자원을 제어하기 위한 flow identification, traffic policing, traffic shaping 등이 필요하며 패킷 스케줄링과 버퍼 관리 알고리즘과의 관계도 함께 연구되어야 한다.

망 운용 및 관리 기술

기존 라우터의 라우팅 불안정성과 형상관리의 어려움을 개선하고 다양한 서비스 통합에 따른 인터넷의 안정성과 운용 편의를 높이는 망운용 및 관리 기술이 요구된다. 이를 위하여 운용자에게 간편하며 지능적으로 망 액세스 규제 범칙을 패킷 필터링 규칙으로 변환 해주거나, 망의 형상을 자동으로 관리해주는 운용자 지원 시스템 기술이 필요하며, 인터넷의 과금 기술도 함께 연구되고 있다.

IV. 고속 라우터 개발 동향

고속 라우터의 구분은 여러가지 기준이 있을 수 있으나, 포트속도의 총합이 25Gbps 이상인 미드-코어 라우터 이상을 고속 라우터로 정의하여 이 분야의 개발

동향을 알아본다. 고속 라우터를 개발하고 있는 회사의 제품은 표 1 과 같으며, 라우터의 구조상 single box 형태의 최대 용량이 제한된 것과 multi-self integrated 구조의 확장 가능성에 따라 최대 용량이 결정된다. 현재 포트 총합이 100G 이상의 라우터는 시제품이 완성된 단계이며, 시장 진입은 2000 년 후반으로 예측되고 있다.

우리나라의 경우 고속 라우터 관련 연구개발이 미미한 실정이며, 포트 총합이 20G 급 이하인 기가비트 이더넷 스위치, MPOA ATM LAN 스위치 등이 ETRI 에서 연구개발 중이다. 인터넷의 증가 추세의 변곡점을 추정하기 어려우며, 트래픽의 폭발적 증가를 목격하고 있는 현재, 고속 라우터 기술은 차세대 지식기반 사회 구축을 위한 가장 필수적인 기술이며, 투자가 시급한 분야이다.

V. 참고문헌

(1) S. Keshav and R. Sharma, "Issues and Trends in Router Design", IEEE Communications Magazine, Vol. 36 No. 5, pp.144-151, May 1998
 (2) <http://www.pluris.com>, "Avoiding Future Internet backbone Bottlenecks Through the Development of Internet Scalable Terabit Network Routing Systems"

(3) H.C.B. Chan, et al, "A Framework for Optimizing the Cost and Performance of Next-Generation IP Routers," IEEE JSAC, vol. 17, No. 6, pp. 1013-1029, June 1999
 (4) N. McKeown, et al, "Achieving 100% Throughput in an Input-Queued Switch," Proc. IEEE INFOCOM'96, San Fransisco, Mar. 1996
 (5) B. Sutter, et al, "Buffer Management Schemes for Supporting TCP in Gigabit Routers with Per-Flow Queuing," IEEE JSAC, vol. 17, No. 6, pp. 1159-1169, June 1999

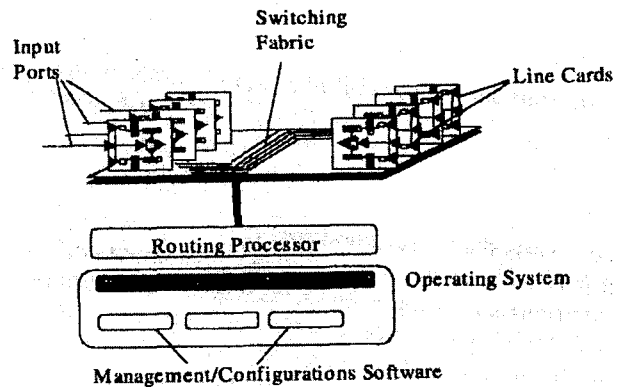


그림 1. IP 라우터 구조[1]

표 1. 고속 라우터 연구개발 동향

router	line cards slots (single)	line card perf.	line capacity (single)	switching capacity (single)	line capacity (multi)	switching capacity (multi)
Torrent P9000	16	1Mpps	20G	20G	-	-
Argon Gigapacket	8	N/A	20G	40G	160G	320G
Juniper M40	8	2.5Mpps	20G	40G	-	-
Cisco 12012	11	2.4Mpps	27G	60G	-	-
Lucent Packetstar64	8	4Mpps	40G	64G	-	-
Avici	10	7Mpps	100G	640G	1.4T	36T
Nexabit	16	N/A	160G	6.4T	-	-
Pluris	15	33Mpps	150G	1.44T	19.2T	184T