

데이터 기반 레이블 스위칭을 위한 캐쉬 대체 기법*

김남기^o 진성기 박선영 윤현수
한국과학기술원 전산학과
(ngkim, skjean, parksy, hyoon}@camars.kaist.ac.kr

Cache Replacement Schemes for Data Driven Label Switching

Namgi Kim^o Sungkee Jean Sun-Young Park Hyunsoo Yoon
Dept. of Computer Science, KAIST

요 약

인터넷이 급속도로 발전되면서 트래픽이 폭발적으로 증가하여 현재 라우터에 많은 부담을 주고 있다. 반면 스위칭 기술은 라우팅보다 빠르게 데이터를 전송할 수 있다. 그 결과 라우터 병목 현상을 해결하고자 IP 라우팅에 스위칭 기술을 접목한 레이블 스위칭 네트워크가 출현하게 되었다. 레이블 스위칭 기술 중 데이터 기반 레이블 스위칭에서 매우 중요한 것은 캐쉬 테이블 관리이다. 캐쉬 테이블에는 흐름 분류를 위한 정보와 레이블 스위칭을 위한 정보를 저장하고 있는데 캐쉬 테이블 크기는 라우터 자원에 의해 제약이 받으므로 캐쉬 대체 기법이 필요하게 된다. 따라서 효율적인 캐쉬 테이블 관리를 위해 인터넷 트래픽 특성을 고려한 캐쉬 대체 기법에 관한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 인터넷 트래픽 특성을 고려해 기본적인 FIFO, LFC, LRU 기법을 실제 인터넷 트래픽을 사용해 성능 평가하고 새로운 가중치 우선순위 LRU 기법을 제안한다. 특히 가중치 우선순위 LRU 기법은 플로우 인엔아웃 현상이 없고 시간이 지나도 새로운 플로우를 적절히 생성해내는 일관성을 지니면서도 스위칭 비용을 줄이는 장점을 가지고 있다.

1. 서론

웹의 발전으로 인터넷이 대중화되면서 급속도로 성장하고 있다. 1999년 현재 전 세계적으로 약 6천만개의 컴퓨터가 인터넷과 연결되어 있으며 그 수가 매년 50%씩 증가하는 추세이다 [1]. 또한 컴퓨터 수의 증가와 비례해 멀티미디어 서비스와 인터넷 비즈니스에 의해 인터넷 트래픽 양도 급격히 증가하고 있다. 하지만 인터넷 트래픽 증가는 현재 인터넷 망에 많은 부담을 주고 있으며 특히 긴 프리픽스 매칭(longest prefix matching)을 소프트웨어적으로 수행하는 라우터의 병목 현상은 매우 심각한 상황이다. 이를 극복하고자 고속 스위칭 기술을 라우터에 적용한 레이블 스위칭 네트워크가 제안되었는데 이는 기존의 IP 라우팅을 레이블을 이용한 스위칭으로 대체해 라우터 병목 현상을 없애고자 하는 것이다. 본 논문에서는 레이블 스위칭 중 데이터 기반 레이블 스위칭 네트워크에서 반드시 필요한 캐쉬 대체 기법에 대해 기본적인 알고리즘을 평가하고 새로운 기법인 가중치 우선순위 LRU 기법을 제안한다.

* 본 연구는 첨단정보기술 연구센터를 통하여 과학재단의 지원을 받았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 데이터 기반 레이블 스위칭 네트워크의 구조와 캐쉬 대체 기법 연구에 대한 필요성을 살펴 본다. 3장에서는 새로운 캐쉬 대체 기법인 가중치 우선순위 LRU 기법을 제안하고 4장에서는 기본적인 캐쉬 대체 기법들에 대해 성능평가 한 다음 새로운 캐쉬 대체 기법에 대해서도 성능 평가 한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

2. 관련연구

플로우란 일정한 시간 내에 같은 출발지(source)와 목적지(destination)를 가지는 연속적인 패킷의 집합을 말한다. 그리고 일정량 이상의 데이터가 전송되는 플로우를 찾아 내는 과정을 흐름 분류(flow classification)라 한다. 데이터 기반 레이블 스위칭 네트워크로 패킷이 입력되면 흐름 분류를 통해 이 패킷을 스위칭으로 전송할지, 기존의 IP 라우팅으로 전송할지 결정한다. 그리고 스위칭 전송으로 결정된 패킷에게는 IP 주소에 대응하는 레이블과 스위칭 자원을 할당하고 이 정보를 캐쉬에 저장한다. 그런 다음 같은 플로우에 속하는 패킷이 입력되면 캐쉬에 있는 스위칭 정보를 이용해 패킷을 즉시 스위칭함으로써 라우터 병목현상 없이 고속으로 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그림 1은 데이터 기반 레이블 스위칭 구조를 개략적으로 나타낸 것이다.

제목:
dataDriven
작성한 사람:
Tgif:3.0-p13 by William Chia-Wei Cheng (william@cs.UCLA.edu)
미리 보기:
이 EPS 그림은 미리 보기 그림을 포함하지 않고
저장되었습니다.
설명:
이 EPS 그림은 PostScript 프린터를
제한한 다른 프린터에서는
인쇄되지 않습니다.

그림 1: 개략적인 데이터 기반 레이블
스위칭 네트워크 구조

현재 제안되고 있는 데이터 기반 레이블 스위칭은 IP 스위칭 [2], MPOA [3], CSR [4], MPLS [5] 등이 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 데이터 기반 레이블 스위칭은 흐름 분류 정보와 스위칭 정보를 저장하기 위해 캐쉬 테이블을 필요로 한다. 이 때 캐쉬 테이블이 클수록 보다 많은 패킷을 스위칭으로 전송할 수 있고 스위칭 설정 비율(setup rate)을 낮게 유지할 수 있기 때문에 캐쉬 테이블의 크기는 전체 네트워크 성능에 큰 영향을 미친다 [6].

하지만 캐쉬 테이블은 라우터 자원에 의해 제약을 받기 때문에 무한히 커질 수 없으므로 반드시 적절한 캐쉬 대체 기법이 필요하다. 그러나 프로그램에 의해 요구되어지는 특성을 고려하는 기존 가상 메모리 관리에 적합한 캐쉬 대체 기법을, 사용자에 의해 요구되어지는 인터넷 트래픽의 특성을 고려하지 않고 바로 레이블 스위칭에 적용할 수는 없다. 그러므로 인터넷 트래픽 특성을 고려한 캐쉬 대체 기법들에 대해 연구할 필요가 있다.

다음 장에서는 레이블 스위칭에서 사용될 수 있는 기본적인 캐쉬 대체 기법들을 알아 보고 새로운 가중치 우선순위 LRU 기법을 제안한다.

3. 데이터 기반 레이블 스위칭을 위한 캐쉬 대체 기법

3.1. 기본적인 알고리즘들

데이터 기반 레이블 스위칭을 위한 캐쉬 대체 기법의 기본적인 알고리즘으로 FIFO(First In First Out), LFC(Least Flow Count), LRU(Least Recently Used) 기법을 들 수 있다.

FIFO 기법은 캐쉬 엔트리 중 가장 오랫동안 사용한 엔트리를 가장 먼저 대체하는 기법으로 모든 데이터가 자원을 공평하게 나누어 쓸 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 FIFO 기법은 장시간 지속되는 플로우의 경우, 단지 시간이 경과되었다는 이유만으로 캐쉬 테이블에서 삭제되었다가 잠시 후 다시 삽입되는 플로우 인앤아웃(flow in-and-out) 현상이 발생해 네트워크 성능을 크게 떨어뜨린다.

LFC 기법은 캐쉬 엔트리 중 가장 작은 수의 패킷을 전송한 엔트리를 가장 먼저 대체하는 기법이다. 이 기법은 과거 데이터 특성을 고려해 플로우 인앤아웃 현상이 없지만 캐쉬 엔트리가 가득차면 항상 새로운 데이터가 먼저 대체 대상이 되어 새로운 플로우를 제대로 만들어 내지 못하는 단점을 가지고 있다.

LRU 기법은 캐쉬 엔트리 중 가장 오랫동안 사용하지 않은 엔트리를 가장 먼저 대체하는 기법으로 플로우 인앤아웃 현상이 없다. 또 새로이 캐쉬에 삽입된 데이터가 과거 데이터보다 우선순위가 높기 때문에 캐쉬가 가득 차도 새로운 플로우를 계속해서 만들어내는 장점을 지닌다. 하지만 LRU 기법은 엔트리를 대체할 때 대상 엔트리가 플로우가 되어 이미 스위칭 되고 있음을 고려하지 않는다. 즉 동일한 조건이라면 새로이 스위칭 하려는 엔트리보다 이미 스위칭 자원과 시간 비용을 소모해 스위칭 되고 있는 엔트리에 우선순위를 줄 필요가 있는데 기존의 LRU 기법은 스위칭 되고 있는 엔트리를 무조건 새로운 엔트리로 대체하는 단점을 가지고 있다.

3.2. 가중치 우선순위 LRU 기법

가중치 우선순위 LRU 기법은 스위칭 되고 있는 엔트리에 적절한 우선순위를 주어 스위칭 되기 위해 소모한 스위칭 자원과 시간 비용을 고려한다. 가중치 우선순위 LRU 기법은 캐쉬 테이블에서 캐쉬 대체가 필요하면 먼저 스위칭 되고 있지 않은 엔트리 중에서 LRU 엔트리를 찾는다. 이 때 찾은 엔트리가 어떤 임계 값(threshold)보다 오래 전에 사용된 것이라면 새로운 엔트리와 대체하고 그렇지 않고 최근에 사용된 것이라면 스위칭 되고 있는 엔트리 중에서 LRU 엔트리를 찾아 그것과 새로운 엔트리를 대체하는 것이 가중치 우선순위 LRU 기법이다. 가중치를 두는 이유는 대부분의 캐쉬 테이블이 스위칭 엔트리로 가득 찰 경우, 최근에 새로이 삽입된 데이터는 스위칭 엔트리가 아니므로 캐쉬에서 빈번히 삭제되어 새로운 플로우를 만들어 내지 못하게 되는데 이런 상황을 막기 위해서 이다. 그림 2는 가중치 우선순위 LRU 기법을 그림으로 나타낸 것이다.

제목:
woLRUScheme
작성한 사람:
Tgif:3.0-p13 by William Chia-Wei Cheng (william@cs.UCLA.edu)
미리 보기:
이 EPS 그림은 미리 보기 그림을 포함하지 않고
저장되었습니다.
설명:
이 EPS 그림은 PostScript 프린터를
제한한 다른 프린터에서는
인쇄되지 않습니다.

그림 2: 가중치 우선순위 LRU 기법

4. 성능 평가

성능 평가에는 NLANR(Network Laboratory for Applied Network Research) [7]에서 제공한 실제 인터넷 트래픽을 사용하였다. 이 트래픽은 미국 서부 FIX-WEST에서 1997년 11월 20일 19시 45분부터 약 20분간 측정되었으며 초당 평균 11.8K 패킷이 전송되었고 평균 데이터 전송률은 34.9Mbps였다.

데이터 기반 레이블 스위칭에서 캐쉬 대체 기법을 적용하기 위해서는 기본적인 흐름 분류 방법이 우선적으로 필요한데 본 논문에서는 가장 일반적인 XY 흐름 분류자 [8]를 사용했으며 같은 목적지를 가지는 패킷이 1초에 10개 이상 전송될 때 이를 플로우로 판정하였다.

그림 3과 그림 4는 캐쉬 크기에 따라 초당 스위칭으로 전송된 평균 패킷 수와 초당 평균 스위칭 설정 비율을 나타내고 있다. FIFO 기법은 플로우 인앤아웃 현상에 의해 스위칭 패킷 수가 낮고 스위칭 설정 비율이 지나치게 높음을 알 수 있다. LFC 기법은 캐쉬 크기가 커질수록 다른 기법만큼 새로운 플로우를 충분히 만들어 내지 못해 성능이 나빠지는 모습을 보인다. 가중치 우선순위 LRU 기법은 LRU 기법의 장점을 가지면서 스위칭 설정 비용을 고려했기 때문에 스위칭 설정 비율을 LRU 기법보다 낮게 유지하면서도 스위칭 패킷 수는 많음을 알 수 있다.

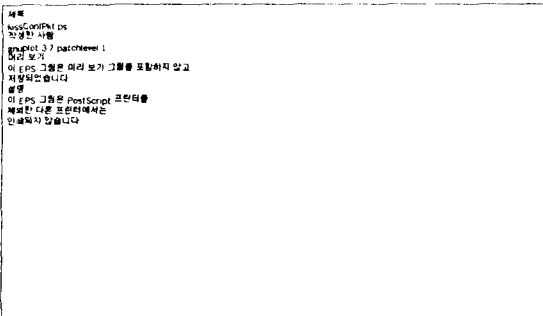


그림 3: 캐쉬 크기에 따른 평균 초당 스위칭 패킷 수

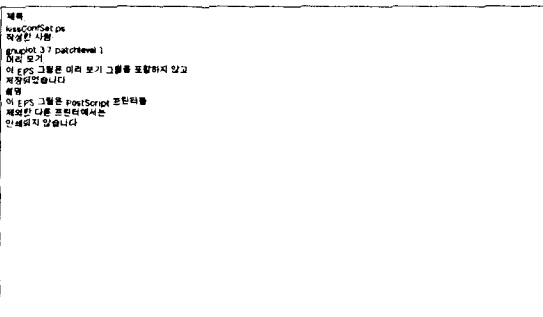


그림 4: 캐쉬 크기에 따른 평균 초당 스위칭 설정 비율

4. 결론

본 논문에서는 데이터 기반 레이블 스위칭에서 사용될 수 있는 기본적인 알고리즘으로 FIFO, LFC, LRU 기법을 성능 평가해 보았고 이를 바탕으로 새로운 가중치 우선순위 LRU 기법을 제안하였다. 특히 가중치 우선순위 LRU 기법은 플로우 인앤아웃 현상이 없고 캐쉬의 대부분이 스위칭 엔트리로 채워졌을 경우에도 새로운 플로우를 잘 생성해 내는 장점을 가지고 있으면서 스위칭 하기 위해 소모한 시간 비용과 스위칭 자원을 고려하는 장점을 지녔다. 이상의 연구 결과를 통해 데이터 기반 레이블 스위칭에 어떤 캐쉬 대체 기법을 적용하는가에 따라 전체 네트워크 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었다.

그리고 향후 연구 과제로 LRU 이외의 여러 기법에 대한 확장 방안과 스위칭 용량이 캐쉬 테이블 용량보다 작을 경우 고려될 수 있는 캐쉬 대체 기법에 대해 연구할 계획이다.

5. 참고 문헌

- [1]. <http://www.nw.com>
- [2]. P. Newman, G. Minshall, and T. L. Lyon, "IP Switching: ATM Under IP," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, Apr. 1998.
- [3]. ATM Forum, "Multi-Protocol Over ATM Version 1.0," *afmpoa-0087.000*, July 1997.
- [4]. Toshiba Corp., "Cell Switch Router White Paper Version 1.0," White Paper, Nov. 1996.
- [5]. A. Viswanathan, N. Feldman, Z. Wang and R. Callon, "Evolution of Multiprotocol Label Switching," *IEEE Communication Magazine*, May 1998.
- [6]. I. Widjaja, H. Wang, S. Wright and A. Chatterjee, "Scalability Evolution of Multi-Protocol Over ATM (MPOA)," in *IEEE INFOCOM'99*, Mar. 1999.
- [7]. <http://www.nlanr.net>
- [8]. S. Lin and N. McKeown, "A Simulation Study of IP Switching," in *ACM SIGCOMM'97*, Sept. 1997.