

## IP 스위칭에서 동적 흐름 분류에 관한 연구

이우승\*, 정운석\*, 박광채\*\*

\* 조선대학교 대학원 전자공학과

\*\* 조선대학교 전자·정보통신공학부

광주광역시 동구 서석동 375번지

### A Study on the Dynamic Flow Classification for IP Switching

Woo-Seung Lee\*, Un-Suk Jung\*, Kwang-Chae Park\*\*

\* Dept. of Electronics Eng., Graduate School of Chosun Univ.

\*\*School of Electronics, Information and Communications Eng. Chosun Univ.

375 Seoseck-dong, Dong-gu, Kwangju 501-759, Korea

E-mail : ws\_lee@candclab.chosun.ac.kr

#### Abstract

IP Switching is a new routing technology proposed to improve the performance of IP routers. Flow classification is one of the key issues in IP Switching. To achieve better performance, flow classification should be matched to the varying IP traffic and an IP switch should make use of its hardware switching resources as fully as possible. This paper proposes an adaptive flow classification algorithm for IP Switching. By dynamically adjusting the values of its control parameters in response to the present usage of the hardware switching resources, this adaptive algorithm can efficiently match the varying IP traffic and thus improve the performance of an IP switch.

#### 1. 서 론

인터넷 사용자의 증가와 멀티미디어 응용들의 출현으로 인하여, IP 트래픽 지난 몇 년 동안 급속하게 증가하였으며, IP 라우터들은 인터넷 병목 현상을 일으키게 되었다. IP 스위칭은 기존의 IP 라우터들의 성능을 개선시키기 위해 나타난 효율적인 라우팅 기술이다. IP 스위치는 ATM 하드웨어에서 직접 교환을 할 것인지 아니면 라우팅 소프트웨어에 의해서 hop-by-hop으로 전송할 것인지를 결정하기 위해 흐름 분류를 실행해야 한다. 이 작업은 패킷 헤드의 필드 값을 조사함으로써 실행된다. 일반적으로, 많은 수의 패킷들을 가

지고 있는 긴 흐름들은 ATM 스위칭에서 교환되어지고, 적은 수의 패킷들을 가지고 있는 짧은 흐름들은 hop-by-hop 전송으로 다뤄진다[1]. 이 목적을 위해, 흐름 분류는 짧은 주기의 흐름과 긴 주기의 흐름들인 들어오는 흐름들을 효율적으로 분류하여야 한다. 보다 나은 성능을 위해서 다양한 흐름 분류 방법 및 알고리즘들이 제안되었다[1][2][3]. 제안된 대부분의 알고리즘의 특징은 정적이고 또한 제어 파라미터 값들이 정적으로 고정되어있다. 그러나 IP 트래픽은 매우 변화가 많아 정확한 트래픽 특징들의 예측과 최적의 표준이나 제어 파라미터의 설정이 어렵다. 이러한 이유로 정적 흐름 분류 방법/알고리즘은 변화하는 IP 트래픽에 대한 적용과 이상적인 실행을 하기가 어렵다. 성능을 개선하기 위해서 흐름 분류는 변화하는 IP 트래픽의 특징들을 고려해야 한다. 게다가, IP 스위치는 더 좋은 성능을 위해 가능한 모든 하드웨어 스위칭 자원을 사용해야 한다. 이러한 요지에 근거를 두고 본 논문에서는 IP 스위칭에 대한 동적 흐름 분류 알고리즘을 제안하였다. 하드웨어 스위칭 자원들의 현재 사용량에 대하여 이들의 제어 파라미터 값을 동적으로 조절함으로써 이 동적 알고리즘은 변화하는 IP 트래픽에 효율적으로 조절이 되며 IP 스위치의 성능을 개선시킬 수 있다.

#### II. 정적 흐름 분류 방법

Protocol-based policy는 프로토콜에 의해 흐름을 간단하게 분리하는 하나의 흐름 분류 방법이다. 이 방법은 라우팅 소프트웨어에 의해 모든 TCP 흐름들은

ATM 스위칭으로 선택되고, 반면 모든 UDP 흐름들은 hop-by-hop으로 전송되어진다. 이 방법은 연결형 서비스들이 일반적으로 짧은 시간 동안 비연결형 서비스들 보다 전송해야할 패킷들이 더 길고 많이 가지고 있다는 것이다. 유사하게 흐름들 또한 ftp, smtp, http와 같은 응용들에 의해서도 분류된다[3]. Application-based policy는 각 흐름의 패킷들의 평균 지속 기간과 평균수의 통계적 측정으로 결정된다. 오랫동안 지속되는 흐름들을 발생하고 많은 수의 패킷들의 수를 가지고 있는 응용 서비스들은 ATM 스위칭에 선택되는 경향이 있다. 이 두 방법들 모두 긴 지속 기간의 흐름으로부터 짧은 지속 기간의 흐름을 분리하는데 있어서 효율적이지 못하다.

또 다른 흐름 분류 알고리즘[1]은 각 흐름으로부터 수신된 패킷들의 수를 계산하여 각 흐름의 처음 X 패킷들은 항상 라우팅 소프트웨어에 의해서 전송을 하고 반면 더욱 많은 패킷들은 ATM 하드웨어에서 교환되어지며, 프로토콜과 응용들에 무관하다. 개선된 방법이 X/Y 알고리즘이다. 이 알고리즘 또한 각 흐름들에서 수신된 패킷들의 수를 계산한다. Y초 내에 수신된 흐름의 패킷들의 수가 X를 초과하게 되면 흐름의 많은 패킷들은 ATM 하드웨어에서 교환되어 질 것이다. 이 두 알고리즘의 기본은 만약 흐름에서 수신된 X 패킷을 이미 가지고 있다면(Y초 이내에) 이는 이 흐름이 더욱 많은 패킷을 가진다고 예상할 수 있다는 것이다.

### III. 동적 흐름 분류 방법

2장에서 설명한 모든 흐름 분류 방법/알고리즘들은 정적이다. 트래픽 부하가 경부하이고 입력되는 흐름들이 대부분 짧은 기간의 흐름들이라고 가정해보면, 소프트웨어 전송 자원과 하드웨어 스위칭 자원의 이용률 균형이 이상적인 성능을 발휘하지 못한다. IP 스위칭의 목적은 ATM 하드웨어를 활용에 의하여 기존의 IP 라우터의 전송 성능을 개선하는 것이다. 이 관점으로 부터 ATM 스위치의 하드웨어 스위칭 자원들이 가능한 전체가 이용되도록 해야 이상적이다. 반면에, IP 스위칭은 그 자체에서 두 개의 다른 종류 자원들의 이용률이 자동적으로 조절되는 메커니즘을 제공해야한다.

IP 스위치의 VC(virtual circuit) 공간은 중요한 하드웨어 스위칭 자원이며 시스템 성능에 커다란 영향을 미친다. 흐름이 ATM 스위칭에 대하여 선택되었을 때, IP 스위치는 VC공간으로부터 VCI를 요구해야하며, 이렇게 함으로써 ATM 하드웨어에서 직접 교환할 수 있다. 커다란 VC 공간들은 ATM 하드웨어에서 교환되어지기 위한 많은 수의 흐름들에 대하여 허락을 할 것이며, 이는 보다 좋은 성능을 나타낸다. 그러나 IP 스위치의 VC 공간들이 제한되어 있다면, ATM 스위칭

에 대하여 선택되어진 흐름들은 VC 공간에서 차단되어질 것이며, 이는 ATM 하드웨어에서 교환되어지지 않을 것이다. 보다 좋은 성능을 이루기 위해서는 ATM 스위칭에 대하여 가능한 많은 흐름들을 선택하는 것이 바람직하다. 반면에, 너무 많은 흐름들이 ATM 스위칭으로 선택되어지면, 이 흐름들은 짧은 기간의 흐름들에 의하여 VC 공간에서 비교적 길게 차단되어지므로 바람직하지 않다. 이러한 이유로 흐름 분류 알고리즘은 변화하는 IP 트래픽에 일치하도록 제어 파라미터 값을 동적으로 조절할 수 있어야 한다. 이 목적을 위해 동적 흐름 분류 알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘은 정적 X/Y 알고리즘을 기본으로 하며, Y는 시간 간격을 나타내며, X는 Y초에서 수신된 패킷들의 수이다. 알고리즘의 목적은 가능한 많은 VC 공간을 사용하면서 긴 기간의 흐름들에 대하여 보다 좋은 성능을 제공하는 것이다. 변화하는 IP 트래픽에 일치시키기 위해서는 현재 VC 용량에 일치하는 정적 X/Y 알고리즘의 제어 파라미터(X와 Y)값을 동적으로 조절하는 것이 바람직하다. VC 용량은 표 1과 같이 X와 Y의 측면에서 단조로운 특징을 나타내고 있다. X의 증가 또는 Y의 감소에 의해서 VC 용량은 감소되어진다. 따라서 이러한 특징을 VC 용량의 동적 제어에 이용을 한다. 이 원리는 VC 용량이 작을 때 즉, X(또는 Y)가 적당히 감소 (또는 증가) 하면 보다 많은 흐름들이 ATM 하드웨어에서 교환되어질 것이다. 반대로 VC 용량이 과부하가 되면 즉, X(또는 Y)가 적당히 증가 (또는 감소) 하면 비교적 길고 많은 수의 패킷을 포함하고 있는 흐름들은 VC 공간에서 차단되지 않으며 ATM 하드웨어에서 교환되어질 것이다. 이 방법은 알고리즘에서 주기적으로 VC 용량을 측정하며 목표함수에서 어떻게 조절할 것인가를 결정한다.

표 1. X와 Y의 측면에서의 VC 용량의 특징

	X ↑	X ↓	Y ↑	Y ↓
$C_n$	↓	↑	↑	↓

조절은 이산 시간 n에서 주기적으로 수행된다고 가정한다. 대부분 손실이 없고, n이 정수 값이면 실제 조절은 고정된 시간 간격에서 일어난다. VC 공간 전체를 사용하기 위해서는 시간 n에서 VC 용량은 가능한 커야한다. 그러나 일반적으로 VC 공간에서 일어나는 블록킹의 경우 VC 공간의 크기와 같지 않으며, 이러한 흐름들은 비교적 길고 ATM 하드웨어에서 교환되지 않는 많은 수의 패킷들을 포함하고 있다. 이러한 이유로 목표함수 또는 목표 영역은 다음과 같다.

$$C_l < C_n < C_m$$

여기에서  $C_n$ 은 시간  $n$ 에서 VC 용량이다.  $C_m$ 은 VC 공간의 크기이며 고정된 값으로 가정한다. 그리고  $C_l$ 은  $C_m$ 이 임계치이다. 이제 조절 목표가 VC 용량의 조절에서 목표 영역으로의 변환된다.  $X_n$ 과  $Y_n$ 은 각각 시간  $n$ 에서 X와 Y의 값이다. 이 두 값은 양의 값으로 다음과 같다.

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X_n$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y_n$$

$\Delta X_n$ 과  $\Delta Y_n$ 은 시간  $n$ 에서 조절 단계 크기이다. 조절 방법은 표 2에 있다. "0"은 변화 없음, "↓"는 감소 "↑"증가이다. 이론적으로 조절은  $X_n$ 또는  $Y_n$ 의 변화에 의해서 뿐만 아니라 모든 변화에 의해서 이루어진다.

표 2. X와 Y의 조절 방법

	$0 < C_n < C_l$	$C_l < C_n < C_m$	$C_n = C_m$
$(X_n, Y_n)$	(↓, ↑)	(0, 0)	(↑, ↓)

다음은 어떻게 각 조절 시간마다 조절 단계 크기를 결정하는 것이다. 간단한 방법은 VC 공간의 현재 사용량에 무관하게 작은 고정된 값을  $\Delta X_n$ 과  $\Delta Y_n$ 에 할당하는 것이다. 보다 좋은 성능을 위해서는 VC 용량이 목표영역으로 가능한 빨리 접근하는 것이 좋다. 그래서 보다 작은 VC 용량의 경우에는 보다 큰  $\Delta X_n$  또는  $\Delta Y_n$ 의 값이 바람직하다. VC 용량이 목표영역에 가까울 때  $\Delta X_n$  또는  $\Delta Y_n$ 의 값은 작게 되고  $C_n$ 은 조절 범위를 넘어서지 않게 될 것이다. 그러므로  $\Delta X_n$ 과  $\Delta Y_n$ 은 현재의 VC 용량( $C_n$ )과 원하는 VC 용량( $C_d$ )사이에서 차액( $L_n$ )에 기본을 두어 조절된다. 조절 단계의 크기는 다음과 같이 결정된다.

$$\Delta X_n = \begin{cases} 0 & |C_n - C_d| < C_m - C_d \\ -\mathbb{I}\left[\frac{|L_n|}{L_0} * \Delta X_0\right] & C_d - C_n \geq C_m - C_d \\ \mathbb{I}\left[\frac{|L_n|}{L_0} * \Delta X_0\right] & C_n - C_d \geq C_m - C_d \end{cases}$$

$$\Delta Y_n = \begin{cases} 0 & |C_n - C_d| < C_m - C_d \\ -\mathbb{I}\left[\frac{|L_n|}{L_0} * \Delta Y_0\right] & C_d - C_n \geq C_m - C_d \\ \mathbb{I}\left[\frac{|L_n|}{L_0} * \Delta Y_0\right] & C_n - C_d \geq C_m - C_d \end{cases}$$

여기에서  $\Delta X_0$ 와  $\Delta Y_0$ 는 조절 단계 크기의 초기 값이며  $\mathbb{I}[\omega]$ 는  $\omega$ 의 정수 부분이다. 파라미터의 관계는 그림 1에 있다. 현재의 VC 용량과 원하는 VC 용량의 사이의 차이에 대한 비에서 이 방법은 (X,Y)조절은 선형적이다.

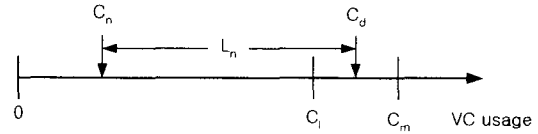


그림 1. 파라미터들의 관계

#### IV. 시뮬레이션

본 장에서는 제안한 동적 알고리즘의 효율성을 증명하고, 시스템 성능의 개선을 보이기 위해 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 각 추적 기간이 제한되어 있기 때문에, 시뮬레이션 결과는 240초 이내에서만 실행되었다. 일반적인 손실은 없고, 단지 host+port 흐름 형태 [3]만 고려하였으며, 하나의 단일 IP 스위치 입력포트에 초점을 맞추었다. 조절 시간 간격은 5초로 하였다. 흐름 제거 시간은 30초로 설정되었으며 이 시간은 활성 VC의 대기 시간이다. 흐름에서 두 개의 인접한 패킷 사이의 도착 시간 간격이 흐름 제거 시간을 초과하게 되면, 여기에 상응하는 VC는 제거되고 이 흐름은 종결되어진다. 실험에서 트래픽 부하는 변화가 심하고 초기 VC의 사용은 "0"으로 가정하였다. 게다가 VC 공간의 사용률을  $\alpha_n = \frac{C_n}{C_m}$ 으로 하였다.

$C_m=2000 flows$  이고,  $C_l=90\% C_m$  이다.

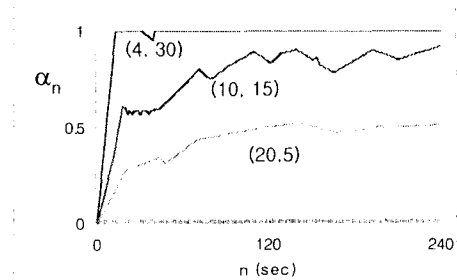


그림 2. 정적 X/Y 알고리즘에 대한 VC 사용량의 초기 (X, Y)값의 영향

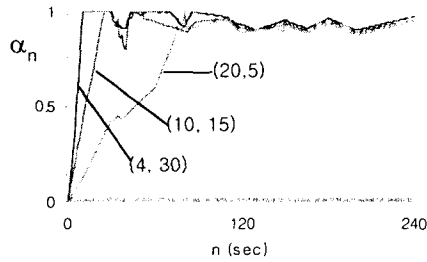


그림 3. 동적 알고리즘에 대한 VC 사용량

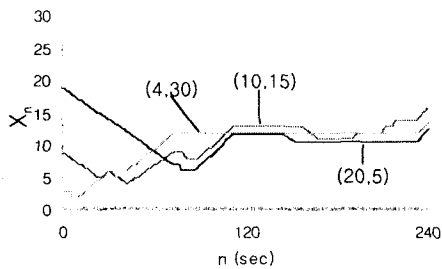


그림 4. X 값의 영향

그림 2는 정적 X/Y 알고리즘에 대한 VC 사용에서 (X, Y)의 다른 초기 값의 영향을 조사하였다. ( $X_0$ ,  $Y_0$ )의 다른 설정에 대하여, VC 공간의 이용률은 천이 기간 후에 각각의 값에서 안정되는 경향을 나타냈다.

그림 3은 제안한 동적 알고리즘의 VC 사용량에 대하여 나타낸 것이다. 그림 3으로부터 (X, Y)의 초기 값에 관계없이 VC 사용량이 효율적으로 목표 영역으로 집중되는 것을 알 수 있다. VC 이용률은 목표 영역 내에서 매우 높게 유지되고 블록킹은 거의 발생하지 않는다. 이 의미는 제안된 알고리즘이 다양하게 변화하는 IP 트래픽의 특성에 효율적으로 적용된다는 것을 말한다. 그림 4는 시뮬레이션에서 X 값을 조절한 것이다. X의 초기 값이 얼마나 큰 값인가에 관계없이  $X_n$ 이 천이 기간 뒤에 안정된 상태로 집근해 간다.

표 3은 시뮬레이션의 통계표를 나타내고 있다. 여기에서 흐름들은 ATM 스위칭에 대하여 선택되어지지 않고 모두 라우팅 소프트웨어에 의해서 전송된다. 이것은 ( $X_0$ ,  $Y_0$ )의 초기 값들에 관계없이 교환되어지는 패킷의 수나 퍼센트가 효과적으로 증가하는 증가한다는 것을 알 수 있다.  $X_0$ 의 값이 커지면 교환되어지는 패킷의 수가 증가하게 된다. 교환되어지는 흐름의 전체 수가 조금 감소하더라도, 교환되는 패킷의 수는 계속

증가한다. 교환되어지는 패킷들의 수의 관점에서 보면 긴 주기 기간의 흐름들에 대한 성능과 IP 스위치의 전체 성능 모두 효과적으로 개선되었다.

표 3. 시뮬레이션 결과

(X,Y)	Total packets	Packets switched	Percentage of packets switched
(4,30)	788587	528423 (S)	67.00% (S)
		537991 (A)	68.22% (A)
(10,15)	788587	526224 (S)	66.70% (S)
		532206 (A)	67.50% (A)
(20,5)	788587	491647 (S)	62.35% (S)
		534802 (A)	67.80% (A)

S : The static X/Y algorithm  
A : The proposed dynamic algorithm

## V. 결 론

본 논문에서는 IP 스위칭에 대한 동적 흐름 분류 알고리즘을 제안하였다. 정적 X/Y 알고리즘에 기반을 둔 이 알고리즘은 현재 VC 사용량에 따라 제어 파라미터 (X 또는 Y)의 값을 동적으로 조절한다. 시뮬레이션은 허용된 VC 용량이 효율적으로 목표 영역으로 집중되고 다양한 IP 트래픽에 적합하다는 것을 보여주고 있다. 또한 시뮬레이션 결과는 긴 주기 기간의 흐름들의 성능과 IP 스위치의 전체 성능이 교환되어지는 패킷의 수의 관점에서 모두 향상되었음을 보여주고 있다. 이 알고리즘은 오직 VC 공간에 초점이 맞추어졌으며, 다른 시스템 자원은 비교적 작게 제한한 것으로 가정하였다. 그러나 실제로 circuit setup rate 같은 다른 시스템 자원들도 또한 제한되었으며, 시스템 성능에 있어서 커다란 영향을 준다.

## 참 고 문 헌

- [1] Peter Newman, Greg Minshall and Thomas L. Lyon, "IP Switching-ATM under IP," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 6, No. 2, April 1998, pp. 117-129.
- [2] Hao Che, San-qi Li and Arthur Lin, "Adaptive Resource Management for Flow-Based IP/ATM Hybrid Switching Systems," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 6, No. 5, October 1998, pp.544-557.
- [3] Steven Lin and Nick McKeown, "A Simulation Study of IP Switching," *ACM SIGCOMM'97*, pp.15-24.