

# 셀 손실률에 근거한 차별화를 가능케 하는 DSLAM에서의 셀 스케줄링 기법

김창훈\*, 김동균, 도경태, 박장연, 박승철\*, 최양희  
서울대학교 컴퓨터공학과, \*현대 전자 산업(주)

## A Cell Scheduling Scheme in Digital Subscriber Line Access Multiplexer with Cell Loss Ratio Based Discrimination

Changhoon Kim, Dongkyun Kim, Kyungtae Doh, Jangyeon Park, Seungcheol Park\*, and Yanghee Choi  
Dept. of Computer Engineering, Seoul National University, and \*Hyundai Electronics Industries, Co. Ltd.

### 요 약

ATMover xDSL로 구성된 광대역 가입자 망을 통하여, ATM 망에 접속하려 할 때에는 DSL 접근 다중화기(Access Multiplexer)가 필수적으로 요구된다. 이 때 광대역 통합 서비스라는 가입자 망의 기본적인 목적을 달성하기 위하여, DSL 접근 다중화기는 ATM 계층에서의 트래픽 제어를 수행할 수 있어야 한다. 이에 본 논문에서는 DSL 접근 다중화기에서의 트래픽 제어에 필요한 효율적이고 간단한 셀 스케줄링 기법을 제안한다. 성능평가를 위한 모의실험에 의하면, 제안된 기법은 각 연결들의 트래픽 기술자에 부합하는 서비스를 제공할 수 있으며, 아울러 연결들이 명시한 셀 손실률에 근거한 차별화된 서비스 품질(QoS)을 제공할 수 있다.

### 1. 서론

근래 들어, 가입자 망에서는 Digital Subscriber Line(DSL)에 기반한 기술들이 활용되고 있다. DSL 기술이 가입자 지역에 적합한 가장 큰 이유는 기존의 전화망을 그대로 활용할 수 있다는 점이다. 전화망의 특성상 한 가입자에게 제공되는 대역폭은 다른 가입자들과 공유되지 않는다. 따라서 DSL에 기반한 가입자 망에서는 전송 규약으로써 ATM이 사용될 것으로 예상된다. DSL에 기반한 망에 ATM을 적용하는 것은 ATM의 기본 목적인 광대역 통합 서비스망을 이루기 위한 과정으로서도 이해된다. 특히, ADSL 상에 ATM을 적용한 가입자 망 구조에 대한 자세한 권고 사항들은 [1]에 정리되어 있다.

사용자가 ATM over DSL로 구성된 광대역 가입자 망을 통하여 ATM 국간 망(trunk)에 접속하려 할 때에는, 가입자 단말로부터 생성된 ATM 셀들을 집중 및 다중화하여 ATM 접근 스위치(Access Switch)에게로 전송하는 역할을 담당하는, DSL 접근 다중화기(DSL Access Multiplexer, DSLAM)가 필수적으로 요구된다. 따라서, DSLAM은 출력 링크 속도가 입력 링크 속도에 비하여 훨씬 큰 비대칭적 구조를 갖게 된다.

기본적으로, DSLAM은 [2] 제안되고 있는 ATM 계층에서의 트래픽 제어 기능들을 갖추어야 할 필요는 없다. 그러나, 광대역 가입자 망의 기본 취지를 따르기 위해서는 DSLAM에서도 가입자로부터의 트래픽들을 적절히 제어함으로써, 각 연결들에게 적합한 서비스 품질(QoS)을 제공하는 것이 좋다. 일반적으로, ATM 스위치에서는 [2]에서 명시된 트래픽 제어 기법들을 구체적으로는 셀 스케줄링 기법과 버퍼 관리 기법을 통하여 구현하고 있다[3].

물론, 이미 제안되어 있는 다양한 셀 스케줄링 기법이 있으나, 이러한 기법들을 직접 DSLAM과 같이 자원과 계산능력이 부족한 장비에 직접 적용하는 것은 무리가 있다. 본 논문에서는, DSLAM과 같은 ATM 다중화기에서 사용될 수 있는 효율적이면서도 간단한 셀 스케줄링 기법과 버퍼 관리 기법을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 제안하고자 하는 기법과 이와 관련된 연구들을 정리한다. 3절에서는 제안한 기법의 성능을 평가하기 위한 모의 실험 환경을 설명하고, 4절

에서는 모의 실험 결과를 보인다. 끝으로, 5절에서는 결론을 제시한다.

### 2. 셀 스케줄링 기법과 관련 연구

ATM 스위치에서 사용될 수 있는 트래픽 제어기법에 관한 논문들이나, 실제로 개발되고 있는 ATM 스위치 장비에서는 가상연결 별 큐잉(Per-VC Queuing)을 전제로 한 알고리즘을 적용하고 있는 것이 추세이다. 그러나 접근 다중화 장비로서의 DSLAM의 성능, 기능적 요구사항으로서 미루어 본다면 DSLAM에는 가상 연결별 큐잉을 적용하지 않는 것이 합당하다. DSLAM에서는 가상연결 별 큐잉을 가능하게 하기 위한 비용이, 이를 가능하게 함으로써 얻을 수 있는 장점인 다양한 서비스 품질의 제공이 가능하다는 점을 상쇄시킬 것으로 예상되기 때문이다. 따라서, 제안하고자 하는 셀 스케줄링 기법에서는 흐름 별 큐잉(Per-Flow Queuing) 기법을 적용하기로 한다. 흐름 별 큐잉에서 사용되는 '흐름(flow)'은 아래와 같이 정의된다.

흐름 : 유사한 QoS 요구사항을 지닌 가상연결들의 집합

각 연결은 오직 하나의 흐름에만 속한다. ATM 계층에서 정의되는 각각의 서비스 부류를 중 실시간 부류, 즉 CBR과 VBR 서비스 부류에 속하는 연결들은 여러 개의 흐름으로 분류될 수 있다. 그러나, 비 실시간적인 속성을 지닌 ABR과 UBR 서비스 부류에 속하는 연결들은 모두 하나의 동일한 흐름에 속하게 된다. DSLAM에서는 하나의 흐름에 대하여 하나의 큐를 할당한다. 즉, DSLAM에서 사용되는 셀 스케줄링 기법에서는 하나의 가상연결이 아니라 하나의 흐름을 스케줄링의 기본 단위로 생각한다. 이상과 같은 규칙에 의하여 DSLAM 내부의 셀 스케줄링 모듈을 도식화하면 그림 1과 같다. 각 흐름과 일대일 대응되는 큐들은 가중치 W를 가진다. CBR과 VBR 서비스 부류에 대해서는 2개 이상의 흐름 별 큐가 형성될 수 있지만, ABR/UBR 서비스 부류에 대해서는 단 하나의 흐름 별 큐가 형성된다. 각 흐름별 큐는 서로 다른 큐 임계값을 가진다. 이처럼 큐의 길이를 달리하는 것은 각 흐름별로 차별화 된 서비스 품질을 제공하기 위한 것이다.

\*본 연구는 현대 전자 산업(주)의 지원으로 수행되었다

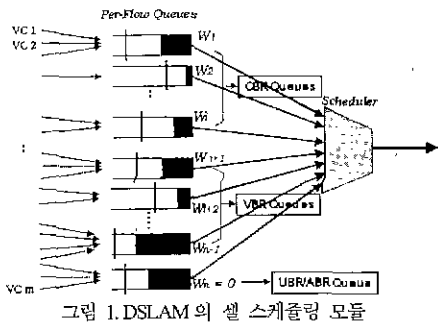


그림 1. DSLAM의 셀 스케줄링 모델

각 연결에게 큐를 할당하는 기준은 그 연결의 QoS 인자중의 하나인 셀 손실률(CLR)이다. 셀 손실률을 기준으로 하여 각 연결들에게 할당될 큐를 분류하는 것은 각 연결들의 서로 다른 QoS 요구사항을 만족시키기 위한 것이다. 그러나, 모든 연결이 지닌 각각의 트래픽 기술자와 QoS 요구사항들을 모두 만족시킬 수 있는 셀 스케줄링 기법은 현실적으로는 아직 존재하지 않는다. 이러한 목적을 달성하는 것은 셀 스케줄링 기법의 이론적인 공평성 기준을 제시한 GPS(General Processor Sharing)에서만 가능하다는 것이 이미 알려져 있다[4]. GPS에서는 가상연결 별 큐잉이 전제된다. 따라서 이론적으로만 구현 가능한 GPS를 실제 세계에서 흉내내기 위하여 제안된 스케줄링 기법들인, Virtual Clock[5]이나 SCFQ[6] 역시 가상연결 별 큐잉이 기본적으로 전제되어야만 한다.

실시간 연결들은 그 연결의 셀 손실률을 기준으로 하여 몇 개의 큐에 나누어진 후 스케줄링 된다. 각각의 큐들은 그 큐에 할당된 연결들의 PCR과 SCR 값에 의하여 서로 다른 가중치를 부여받게 되며, 스케줄러에서는 각 큐의 가중치들을 고려하여 서비스하게 된다.

DSLAM에서 사용될 셀 스케줄링 알고리즘은 흐름 기반(flow-based)의 변형된 WRR(Weighted Round Robin)[7] 기법이다. 스케줄러는 WRR에서와 같이 라운드 로빈 방식으로 큐들을 순회하며 각 큐별로 미리 계산된 가중치 만큼씩을 서비스한다. 그러나 기존의 WRR과는 달리 제안하고자 하는 스케줄링 기법에서는 각 큐들에게 할당되는 가중치가 하나가 아닌 두 개의 값으로 이루어지며 큐들이 제공하는 서비스의 가중치는 이 두 값의 범위 이내에서 동적으로 결정된다. 이러한 기법은 DWRR(Dynamic Weighted Round-Robin)이라는 이름을 가지며, VBR 서비스 부류에 적합한 스케줄링 기법으로 알려져 있다[8]. 그러나, WRR과 DWRR 역시 가상연결 별 큐를 기반으로 제안된 기법들이다.

본 연구에서 제안된 스케줄링 기법은 기존의 WRR 및 DWRR과는 달리 흐름 별 큐를 기반으로 한다는 점에서 차별화 된다. 제안된 기법에서는 하나의 큐에 하나의 흐름이 대응되고, 이 흐름은 연결들의 집합이므로 큐 가중치의 계산에 있어서 WRR이나 DWRR과는 다른 기준이 적용된다. 각 큐에 부여되는 가중치는 각각  $P$ 와  $M$ 이라 불리는 두 개의 값으로 구성된다. 하나의 흐름에 부과되는 가중에 대하여 설명하기 이전에 하나의 연결  $i$ 에 대해 계산되는  $P_i, M_i$  값을 먼저 살펴보자. 연결  $i$ 에 대하여 (1)에 의하여  $P_i, M_i$ 가 구해진다

$$P_i = N \times (PCR_i / C), \quad M_i = N \times (SCR_i / C) \quad (1)$$

즉,  $P_i$ 는 하나의 사이클 타임  $N$  동안 연결  $i$ 에게 할당되는 슬롯 타임의 개수를 뜻하며 이 값은 출력 대역폭의 크기와 연결  $i$ 의 PCR의 비에 비례한다.  $M_i$  역시 동일한 방식으로 이해된다. 이제, 흐름 별 가중은 다음과 같이 구해진다.

$$P = \sum_{i \in flow} P_i, \quad M = \sum_{i \in flow} M_i \quad (2)$$

CBR의 경우  $P$  값은 그 큐에 대응되는 흐름에 속한 연결들의 PCR 값의 총합이다. 또한 CBR에서는 PCR이 그 연결의 평균 셀률과 동일하므로,  $M$  값은  $P$  값과 같은 값으로 설정할 수 있다. VBR의 경우 역시  $P$  값은 그 큐에 대응되는 흐름에 속한 연결들의 PCR 값의 총합이다. 마찬가지로,  $M$  값은 SCR의 총합이다. 만약, VBR 연결의 소스를 On-Off 모델로 가정한다면 아래와 같은 관계가  $M$  값과  $P$  값 사이에서 성립한다.

$$M_i = PCR_i \times \left( \frac{E[X_{on}]}{E[X_{on}] + E[X_{off}]} \right) \quad (3)$$

비 실시간 서비스 부류인 ABR과 UBR의 경우에는  $P$ 와  $M$  값 모두를 0으로 한다. 이는 비 실시간 서비스 부류에 속한 연결들에게는 가중치를 전혀 주지 않겠다는 뜻이므로, 비 실시간 서비스 부류에 대한 스케줄링은 실시간 서비스 부류에 대한 스케줄링이 끝나고 난 후에 발생할 수 있는 잉여의 자원들에 의해서만 가능하다는 것을 의미한다. 구현상의 이유로  $P$ 와  $M$  값은 정수이어야 한다면 위에서 언급된  $P, M$ 을 구하는 모든 수식에서 일률적으로 올림, 내림 혹은 반올림을 취하면 된다. 각 흐름들은 셀 스케줄링이 진행되는 동안 아래와 같은 세 가지 상태 중 하나의 상태에 있게 된다.

- 상태 1:  $P > 0, M > 0$  이고 큐에 셀이 저장되어 있는 상태, 이 상태에 있는 흐름들은 다음 라운드에 방문되어야만 한다.
- 상태 2:  $P > 0, M \leq 0$  이고 큐에 셀이 저장되어 있는 상태, 이 상태에 있는 흐름들은 상태 1에 있는 흐름이 더 이상 없을 경우 다음 라운드에서 방문된다.
- 상태 3:  $P \leq 0, M \leq 0$  이거나 큐에 저장되어 있는 셀이 없는 상태, 이 상태에 있는 흐름의 큐는 다음 라운드에서 방문되지 않는다.

위의 기호와 상태들로서 표현한 셀 스케줄링 기법의 유사 코드는 다음 쪽과 같다.

셀 스케줄링 기법의 유사 코드 1

*/\* n 개의 서로 다른 흐름  $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  가 존재한다. \*/*  
*/\* Bp 한 사이클동안 점유가 허용되는 최대의 타임 슬롯 개수*  
*Bm 한 사이클 동안 점유되는 평균적인 타임 슬롯 개수 \*/*

*Bp와 Bm이 모든 흐름  $i, 1 \leq i \leq n$ 에 대하여 계산된,*  
*모든 흐름  $i, 1 \leq i \leq n$ 에 대하여,  $P_i = Bp \cdot P_i, M_i = Bm \cdot M_i$ .*

```

while(in a cycle) {
    S1 = { i | Pi > 0 이고 Mi > 0, 1 ≤ i ≤ n },
    S2 = { i | Pi > 0 이고 Mi = 0, 1 ≤ i ≤ n }.
    if(S1 ≠ ∅) {
        S' = S1;
        while(S' ≠ ∅) {
            S'에서 흐름 fi를 선택하여 방문한 후 제거,
            Pi와 Mi를 1씩 감소,
            Reconfigure(fi);
        }
        Round();
    }
    else if(S2 ≠ ∅) {
        S' = S2;
        while(S' ≠ ∅) {
            S'에서 흐름 fi를 선택하여 방문한 후 제거,
            Pi와 Mi를 1씩 감소,
            Reconfigure(fi);
        }
        Round();
    }
    else {
        S0에서 흐름 fi를 선택하여 방문한 후 제거,
    }
}
    
```

```

    }
    Round(),
}
Round() {
if(S==∅), then { S0=Sn; }
S0에 속한 모든 흐름들의 다음 상태를 검사.
}
Reconfigure(f) {
흐름 f의 새로운 상태를 검사;
if f가 S1에 속하고 다음 상태가 상태 2 라면
f를 상태 2로 옮김.
else if 다음 상태가 상태 3 이라면
f를 상태 3으로 옮김;
}
}

```

3. 모의 실험 환경

본 연구에서는 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 제작되어 배포되고 있는 ATM 전용 모의 실험 소프트웨어인 NIST 시뮬레이터를 기반으로 하여 모의 실험을 진행하였다. 본 연구를 위하여 DSLAM 컴포넌트를 추가하였고, 이 컴포넌트에 제안한 셀 스케줄링 기법을 구현하였다. 모의 실험을 위해 구성된 실험 모델은 모두 세 가지이다. 각 모델에는 공통적으로 25 개의 트래픽 소스가 사용되었다. 이 중 에서 CBR, VBR, ABR, UBR 연결들의 개수는 각각 6, 12, 4, 3 이며, 사이클 타임은 83 이다.

첫번째 모델(모델 1)은 흐름의 개수가 7 이다. 일곱 개의 큐 중 에서 CBR 용의 큐가 3 개이며 VBR 연결을 위한 큐 역시 3 개이다. 나머지 하나는 비 실시간 연결들을 위한 큐로 사용된다. 두번째 모델(모델 2)은 흐름의 개수가 5 인 경우이다 다섯 개의 큐 중에서 CBR 용의 큐가 3 개이며 VBR 연결을 위한 큐는 하나 뿐이다 역시, 나머지 하나는 비 실시간 연결들을 위한 큐로 사용된다. 25 개의 연결과 5 개의 흐름간의 대응관계는 모델 1.에서 세 개의 흐름으로 나뉘어졌던 VBR 연결들을 모두 하나의 흐름으로 묶은 것과 같다 모델 1과 모델 2 에는 제안한 셀 스케줄링 기법이 적용되었다.

세 번째 모델은 공통 선입 선출 큐(Common FIFO Queue) 모델로서, CFQ 모델이라 불린다. 이 모델에서는 실시간 연결들을 위한 큐와 비 실시간 연결들을 위한 큐, 즉 두 개의 FIFO 큐가 사용되며, 실시간 연결용의 큐의 우선순위가 더 높다. 실험 환경에서 DSLAM 의 출력 링크의 대역폭은 12.5 Mbps 이다. 이 값은 25 개의 응용들의 PCR 과 SCR 을 고려해 볼 때 작은 편이며, 정량적으로는 83 이라는 사이클 타임에, 흐름들의 M 값의 총합은 82 인 상태이므로 그 부하량은 매우 큰 편임을 알 수 있다.

각 모델에서, M 의 총합이 N 에 가까울수록 시스템의 부하는 커지며, 만약 N 보다 커진다면 시스템은 모든 연결들에게 SCR 이상의 대역폭을 할당하는 것이 불가능한 상태로 진입하게 됨을 의미한다.

4. 모의 실험 결과

그림 2 에서 비교적 높은 셀 손실률을 보이는 7 개의 연결들이 바로 비 실시간 서비스 부류에 속한 것들이다. 비 실시간 연결들의 경우 모델 1 에서의 셀 손실률이 CFQ 모델에서보다 높다. 그러나, CBR 과 VBR 응용의 경우 일반적으로 셀 손실률이 더 작음을 알 수 있다 VBR 응용의 경우 그 응용이 어떤 큐에 의하여 서비스되는지에 따라 두 막대간의 격차가 다르다 이러한 결과는 모델 1 에서 적용된 스케줄링 기법이 실시간 응용들에게 있어서 트래픽 기술자에 보다 잘 부합하는 서비스를 제공할 수 있음을 뜻한다.

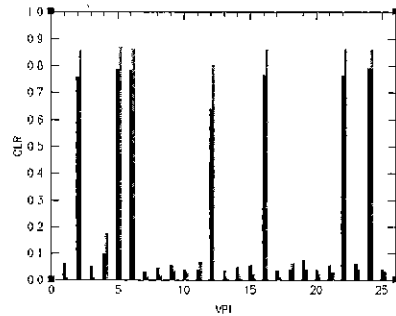


그림 2 연결 별 셀 손실률, 검은 선은 CFQ 모델, 회색 선은 모델 1

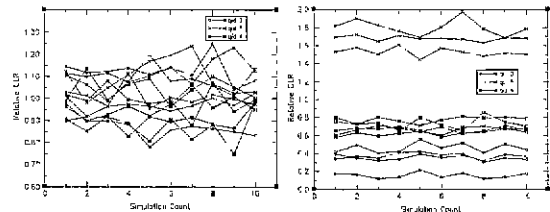


그림 3. 모델 2(좌축)와 모델 1(우축)에 의한 상대 셀 손실률

그림 3 에서는 모델 1과 모델 2 에 의하여 측정된 VBR 연결들의 상대 셀 손실률(모델 1 혹은 모델 2에서의 셀 손실률/CFQ 모델에서의 셀 손실률)을 보이고 있다. 모델 2에서는 VBR 연결들이 CLR 에 따라 서로 다른 흐름에 대응되지 않았으나, 모델 1에서는 3 개의 서로 다른 흐름들에 대응되었으므로, 이로 인한 차별화된 서비스 품질의 제공이 가능함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 DSLAM 과 같은 접근 다중화 장비에서 사용될 수 있는 효율적이며 간단한 셀 스케줄링 기법을 제안하였다. 성능 평가를 위한 모의실험에 의하면, 제안된 기법은 과부하 상태 아래에서도 트래픽 기술자에 부합하는 대역폭을 각 연결들에게 제공할 수 있으며, 아울러 각 연결이 요구하는 CLR 에 따라 차별화된 서비스 품질을 제공할 수 있음이 확인되었다.

참고 문헌

- [1] ADSL Forum, "ATM over ADSL Recommendations," ADSL Forum TR-002, March, 1997
- [2] ATM Forum, "Traffic Management Specification Version 4.0," aTm-0056 000, April, 1996
- [3] Uwe Briert, et al. "Traffic Management for an ATM Switch with per-VC Queuing Concept and Implementation," IEEE Communications Magazine, Jan., 1998
- [4] A. Parekh and R. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Network: The Single Node Case," IEEE/ACM Trans Networking, Vol. 1, No.3 June 1993
- [5] L. Zhang, "Virtual Clock: A New Traffic Control Algorithm for Packet-Switched Networks," ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 9, No. 2, May 1991.
- [6] S. Golestani, "A Self-Clocked Fair Queuing Scheme for Broadband Application," IEEE INFOCOM '94, 1994
- [7] M. Katevenis, et al., "Weighted Round Robin Cell Multiplexing in a General-Purpose ATM Switch Chip," IEEE JSAC, Vol. 9, No. 8, Oct. 1991
- [8] Chiung-Shien, et al. "A Cell Scheduling Algorithm for VBR Traffic in an ATM Multiplexer," IEEE GLOBECOM '95, pp. 632-637, 1995
- [9] Nada Golme, et al., "The NIST ATM/HFC Network Simulator: Operation and Programming," March, 1998.