

보장형 서비스 패킷 스케줄링 알고리즘에 관한 시뮬레이션 연구

오정순*, 육동철**, 김도기***, 이정섭***, 박승섭**

* 부경대학교 전산교육학과, ** 부경대학교 전자계산학과, *** 부경대학교 멀티미디어공학

A Simulation Study on packet scheduling Algorithm of Guaranteed Service

Joung-Soon Oh*, Dong-Cheol Yuk**, Do-ki Kim***, Joung-Seob Lee***, Seong-Seob Park**

* Dept. of Computer Science Education, PuKyong National University

** Dept. of Computer Science, PuKyong National University

*** Dept. of Multimedia Engineering, PuKyong National University

요 약

본 연구의 내용은 실시간 서비스 트래픽, 즉 보장형 서비스를 위한 스케줄링 알고리즘들에 대한 성능 분석에 대한 연구이다. 특히 실시간 데이터 전송의 경우, 작은 지연 시간을 요구하면서 안정된 QoS를 요구하고 있다. 기존에 알려진 FQ, WFQ, WF2Q, Virtual Clock 스케줄링 알고리즘들을 사용해서 대기 큐의 수학적 모델이 아닌 시뮬레이션 도구를 사용해서, 지연에 민감한 보장형 서비스 트래픽에 대한 시간 복잡도, 공정성, 처리율 측면으로 성능을 분석하였다.

1. 서론

인터넷 서비스 활용이 폭발적으로 증가하고 있는 가운데, 보다 나은 품질의 실시간 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증대되고 있다. 그러나, 현재의 인터넷에서는 최선형 서비스(best-effort service)만을 제공하므로 이러한 요구를 만족시키는 데는 한계가 있다.

본 논문은 보장형 서비스를 위한 스케줄링 알고리즘들에 대한 성능 분석에 대한 연구이다. 특히 실시간 데이터 전송의 경우, 작은 지연 시간을 요구하면서 안정된 QoS를 요구하고 있다[1][2]. 기존에 알려진 FQ, WFQ, WF2Q, virtual clock 스케줄링 알고리즘들을 사용해서 대기 큐의 수학적 모델이 아닌 시뮬레이션 도구를 사용해서, 지연에 민감한 보장형 서비스 트래픽에 대하여 성능을 분석하였다.

본 논문 구성은 서론에 이어, II장에서는 관련연구로 각각의 스케줄링 알고리즘에 대해서 설명하고, III장에서는 시뮬레이션 환경을 나타내었고, IV장에서 시뮬레이션 결과를 토대로 처리율과 공정성을 나타내었

으며, 마지막 장에서는 결론에 대해 서술하였다.

2. 관련연구

2.1 패킷 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 FQ(Fair queueing), WFQ(Weighted Fair Queuing), WF2Q(Worst case Fair index Fair Queuing), Virtual Clock에 대해서 설명한다.

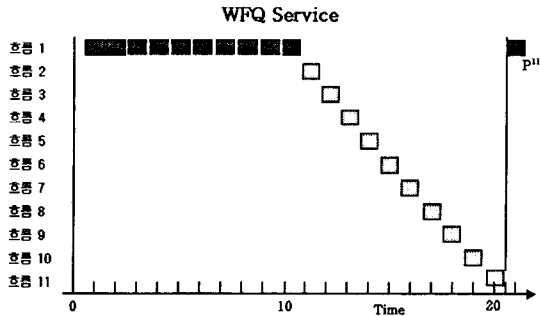
2.1.1 FQ 알고리즘

FQ는 각 IP의 흐름마다 각 하나의 큐를 할당하는 기법으로 공정한 대역폭을 할당하고자 하는데 목적을 두고 있다[3]. 각 큐는 bit-by-bit 라운드 로빈 순서로 서비스를 받는다. 여기서 RR(round robin)은 단순하게 흐름간에 서비스 받는 순서를 일정 시간 간격으로 돌아가며, 패킷을 서비스하는 스케줄링 알고리즘을 의미한다. 특히 Round Robin은 모든 흐름에 대해 동일한 가중치를 가지는 형태의 공평성을 제공하는 것을 기본 모델로 한다.

2.1.2 WFQ 알고리즘

다른 표현으로 PGPS(Packet Generalized Processor Sharing)이라고도 한다. 이는 GPS방식에 가장 근사한

알고리즘으로서, WFQ는 각각의 연결에 대해 링크 용량의 일정 부분을 할당받을 수 있고 worst-case end-to-end delay 역시 보장받을 수 있다. 이와 같이, WFQ 또는 PGPS 스케줄링 알고리즘은 지연시간과 대역폭에 대해 요구사항을 보장 할 수 있는 서비스를 제공할 수 있다.



(그림 1) WFQ의 알고리즘

(그림 1)에서와 같이 흐름 1은 다른 흐름보다 가중치가 높으며, 흐름1이 전부 처리된 다음에 나머지 흐름이 처리된다. 이러한 처리를 위해 가상 서비스 처리 시간을 계산하는 스케줄링 알고리즘을 기준 모델로써 실행하게 된다[4][5].

2.1.3 WF2Q 알고리즘

WF2Q 스케줄링 알고리즘의 특징은 일반적인 다른 패킷 단위의 스케줄링 알고리즘과 동일하게 흐름에 대한 큐를 관리하며, 각 큐의 가상 서비스 시작 시간과 가상 서비스 마침 시간을 아래 식에 의해서 관리해 나간다. i 번째 queue에 k 번째 패킷의 가상 서비스 시작 시간(virtual start time), $k-1$ 번째 패킷의 가상 서비스 마침 시간(virtual finish time)과 현재 가상 서비스 처리 시간(virtual service time)간에 최대값으로 결정된다.

WF2Q 스케줄링 알고리즘에서는 가상 서비스 처리 시간에 대한 구현상의 복잡도를 낮추면서, WFQ 스케줄링에 가깝도록 구현한 방식이다[6].

2.1.4 Virtual Clock 알고리즘

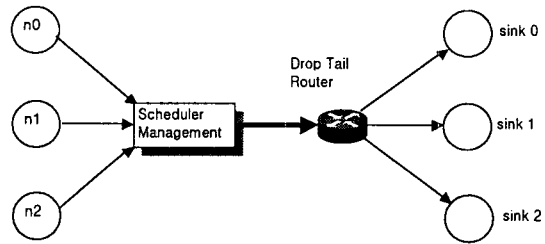
Virtual Clock 스케줄링은 WFQ방식과 유사하다. Virtual clock은 시간 분할 다중화를 모델로 해서 구현되었다[7]. Virtual clock에서도 역시 패킷마다 시간 정보를 갖으며, 시간 정보에 의해 서비스 순서가 결정된다. 시간 정보는 WFQ에서 종료 시간과 유사하나 가상 시간대신 실제 시간을 사용한다는 점에서 차이가 있다.

Virtual clock 알고리즘에서 시간 정보에 대한 기록을 위한 알고리즘은 각 흐름으로 들어오는 패킷에 대

해 평균적인 패킷 도착 시간 간격이 있게 된다. 만약 흐름에 새로운 패킷이 도착하였을 경우, 이 패킷에 대한 서비스 순서를 결정하기 위해 사용하는 시간 정보는 알고리즘 계산에 의해서 변경 되게 된다. Virtual time 은 각 흐름 별로 각각 다른 virtual time 을 유지한다.

3. 시뮬레이션 환경

본 장은 시뮬레이션 망 모델에 대한 설명한다. 시뮬레이션 도구로써는 NS시뮬레이션 도구를 사용해서 시뮬레이션 하였다[8]. 먼저 망 모델로 3개의 송신자와 각각의 송신자의 목적지에 해당하는 3개의 수신자 노드를 설정하였으며, 서로간의 통신 방식은 이중방식으로 통신하도록 설정하였다.



(그림 2) 시뮬레이션 망 모델

(그림 2)는 망 모델에 대한 그림이며, 수신자와 송신자 사이에 두 개의 라우터 역할을 하는 중간노드를 설정하였는데, 첫 번째 중간 노드를 스케줄링 관리기법이 들어가는 노드로 설정하여, 들어오는 패킷에 대하여, 패킷을 분류하고 스케줄링 기법에 따라 데이터를 전송하는 형태이다.

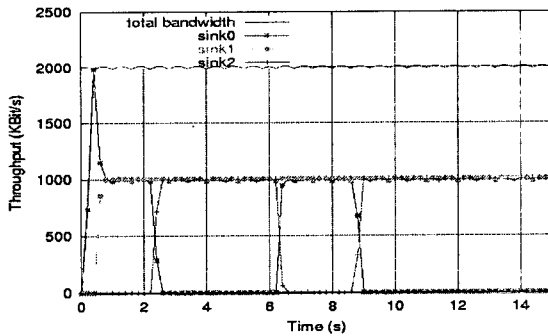
4. 시뮬레이션 결과 분석

본 장에서는 보장형 서비스를 위한 스케줄링 알고리즘들을 비교 분석하였다 무엇보다 보장형 데이터를 전송하는데 있어 문제가 될 수 있는 중요한 요인은 요구하는 대역폭이 많기 때문에 요구 조건을 만족하기가 쉽지 않고, 영상 전송에 있어 중요하게 취급되어야 할 부분은 영상이 부드럽게 제공되어야 한다는 것이다.

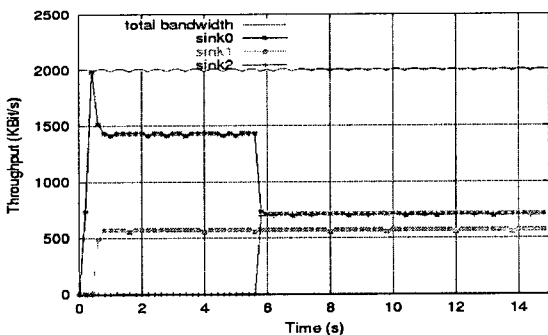
본 논문에서는 각 노드에서 데이터 전송 시 제공되는 서비스들이 단절 없이 얼마만큼의 부드러운 전송을 하는지에 대한 결과를 나타내었다.

실시간 트래픽의 성능에 중요한 영향을 미치는 패킷 스케줄링 알고리즘은 각 흐름에 할당된 만큼의 대

역폭을 다른 트래픽의 영향을 받지 않게 보장해 주는 독립성과 모든 흐름들이 공평하게 여분의 대역폭을 공유할 수 있는 공평성을 제공해야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 많은 패킷 스케줄링 알고리즘이 제안되었으며, 스케줄링 알고리즘의 성능은 패킷 대기 지연, 공평성 및 구현의 용이성에 의해 평가된다.



(그림 3) FQ의 처리율과 공정성

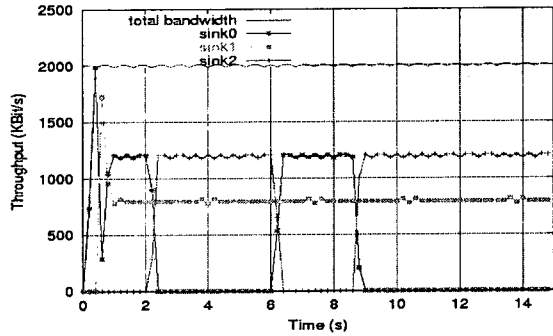


(그림 4) WFQ의 처리율과 공정성

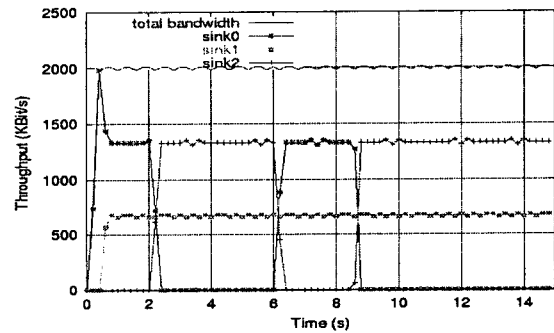
(그림 3)에는 FQ 대한 처리율을 나타낸 평가이다. FQ는 흐름별 라운드 로빈 방식으로 패킷을 서비스하고, 입력마다 분리된 버퍼를 사용한다. 각 흐름 별로 대역폭이 서로 다르고 불연속적으로 패킷이 전달되어 처리되는 것을 확인할 수 있으며, 모든 흐름에 대한 대역폭과 패킷 길이가 동일하고, 패킷간의 간격이 느슨할 때에만 의미가 있다.

(그림 4)는 입력 패킷에 타임 스탬프를 찍어 우선순위에 따라 처리하는 스케줄링 방식으로, 입력 트래픽의 양에 따라 virtual time 값을 이용해 새로 입력되는 패킷에 대한 타임 스탬프를 계산하여 입력 패킷에 첨부한다. 그리고 패킷에 첨부된 타임 스탬프 순서에 따라 큐에서 출력된 WFQ에 대한 처리율을 나타내었

다. 그림에서 WFQ는 대역폭을 공정하게 나타내고 있다



(그림 5) Virtual Clock의 처리율과 공정성



(그림 6) WF2Q의 처리율과 공정성

(그림 5)에서는 TDM(Time Division Multiplexing) 방식과 유사한 Virtual queue 스케줄링 알고리즘을 사용했을 때, 처리율에 대해 나타내었다. 이 알고리즘도 최소한의 대역폭은 보장하나, 패킷간의 간격이 좁아, 부하가 증가할 경우 보장할 대역을 충분히 사용 못하고 있다. 그래서 WFQ보다 서비스에 차이가 남을 알 수 있다.

(그림 6)은 보다 정확한 WFQ알고리즘을 개선하기 위해 시작 시간과 종료시간을 사용하여, 계산 양을 줄여 서비스 순서를 결정하는 방식으로, virtual clock과 유사한 결과를 나타내었다.

(표 1)은 각 알고리즘에 따라 부하 정도의 차이에 따라 공정성을 나타내고 있다. 여기서 FQ는 망의 변화와 트래픽의 종류에 대해 대처능력이 떨어지며, WF2Q, Virtual clock을 이용한 방식은 계산량이 적어서 구현이 용이하고 최소한의 대역폭을 보장해 주지만, WFQ에 비해 성능이 떨어진다.

(표 1) 각 알고리즘에 따른 공정성

알고리즘 종류	부하가 낮을 때의 공정성	부하가 높을 때의 공정성
FQ 알고리즘	<i>fair</i>	<i>unfair</i>
WFQ 알고리즘	<i>fair</i>	<i>fair</i>
Virtual Clock 알고리즘	<i>fair</i>	<i>unfair</i>
WF2Q 알고리즘	<i>fair</i>	<i>unfair</i>

(표 2)는 각 스케줄링 방식에 따른 시간 복잡도를 나타내고 있다. 시간 복잡도의 평가는 로그 파일을 기준으로 나타내었다.

(표 2) 각 알고리즘에 따른 시간 복잡도

알고리즘 종류	시간 복잡도
FQ 알고리즘	$O(1)$
WFQ 알고리즘	$O(N)$
Virtual clock 알고리즘	$O(\log N)$
WF2Q 알고리즘	$O(\log N)$

이상과 같이 기술한 스케줄링 방식들에 대해서 공정성, 처리율, 시간 복잡도에 따른 QoS 보장 측면에서 효율성에 대해서 성능을 분석하였다.

5. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션의 결과를 통해, FQ, Virtual Clock, WFQ, WF2Q 스케줄링 알고리즘의 처리율과 각 노드의 공평성에 대하여 QoS를 분석하였다. 이러한 알고리즘들은 패킷이 도착할 때마다 그 패킷이 속한 연결의 상태 변수 즉 각각의 알고리즘들의 내부에 사용되는 가중치나 시간 관리 변수를 이용한다.

이 상태 변수값은 연결 설정 시간 동안 예약된 값과 데이터 전송동안 연결 혹은 다른 연결에서의 트래픽 도착에 의해 결정된다. 큐 서버는 이 상태 변수값을 우선순위 지표로 사용해서 값이 작은 순서대로 서비스를 하였다. 전송률 파라미터에 또는 지연과 전송률 파라미터에 의해 계산하는 것과 시스템 부하에 독

립적인 파라미터 또는 시스템 부하와 관련된 파라미터에 의해 갱신하는 차이에 따라 서로 다른 결과를 나타내었다.

결론적으로 지금까지 발표된 대부분의 스케줄링 방식들은 구현상의 문제점을 갖고 있거나 QoS 보장의 개선점을 안고 있다. 인터넷 통합 서비스의 지원을 위한 트래픽 제어 알고리즘에 대한 연구가 더 이루어져야겠다.

참고 문헌

- [1] D. Clark, J. Wroclawski, "An Approach to Service Allocation in the Internet," Internet Draft, July 1997.
- [2] Guerin R. and Peris V., "Quality-of-Service in Packet Networks: Basic Mechanisms and Directions." Computer Networks, Feb '99, pp. 169-179.
- [3] K. Nichols, V. Jacobson, L. Zhang, "A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet", Internet Draft, Nov 1997.
- [4] A. Demers, S. Keshav, and S.J. Shenker. "Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm". Proc. of ACM SIGCOMM '89, pages 1-12, Sep. 1989.
- [5] F.M. Chiussi and A. Francini, "Fair Queueing Schedulers with Reduced Implementation Complexity," Bell Laboratories Technical Memorandum BL0113470-970729-05TM, July 1997.
- [6] J. Bennett and H. Zhang, "WF2Q: Worst-case fair weighted fair queuing," IEEE INFOCOM'96, March 1996.
- [7] L.Zang, "VirtualClock; A new traffic control algorithm for packet-switched networks," ACM Trans. Comp. Syst, vol 9, no. 2, pp.101-124, May 1991.
- [8] NS : a discrete event simulator targeted at networking research, "http://www.isi.edu/nsnam/ns/".