

무선 네트워크 환경에서의 공정한 패킷 스케줄링

박 영 일*, 하 란**

*홍익대학교 전자계산학과

**홍익대학교 컴퓨터공학과

{yipark, rhanha}@cs.hongik.ac.kr

Packet Fair Scheduling in Wireless Networks

Young-il Park*, Rhan Ha**

*Dept. of Computer Science, HongIk University

**Dept. of Computer Engineering, HongIk University

요 약

무선 네트워크의 급격한 성장으로 기존의 전자우편, 멀티미디어 등의 응용을 이동 컴퓨팅 환경에서 보다 효과적으로 지원해야 할 필요성이 증대되었다. 기존 유선 네트워크 환경에서 사용자의 독립적 서비스 보장과 요구 비율에 따른 자원의 공정한 배분을 위해서 Fair Queueing 기법이 제안되었다. 이 Fair Queueing 기법을 무선 네트워크에 적용하려는 연구가 진행되고 있으나 무선 미디어 자원의 빈약성과 사용자 이동에 따른 오류 발생 가능성 등으로 인해 아직까지 체계적인 기술은 미비한 형편이다. 본 논문에서는 기존 Fair Queueing 기법에서 각 세션의 가중치를 조절하여 무선 네트워크 환경에서 사용자의 다양한 서비스 품질(QoS; Quality of Service)을 지원하고 오류 발생시 급격한 서비스 품질 저하를 방지하는 패킷 서비스 기법을 제시하고 그 성능을 분석한다.

1. 서 론

기존의 전자우편, 멀티미디어, 웹 브라우저 등의 응용을 이동 컴퓨팅 환경에서 효과적으로 지원하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이와 더불어 무선 네트워크에 대한 표준도 확정되고 있다. 최근 널리 쓰이고 있는 무선 LAN에 대한 IEEE 802.11 표준은 무선 미디어에 대한 접근 방법으로 분산제어와 중앙제어에 관한 프로토콜을 기술하고 있다. 대부분의 이동 시스템에서는 멀티미디어 응용과 같이 다양한 서비스 품질을 요구하는 응용들에게 데이터 처리시 실시간성과 공정성을 제공해야 한다. 유선 네트워크에서 데이터 처리시 공정성과 실시간성을 제공하는 방법으로 Fair Queueing 기법[1-3]이 제안되었다. 네트워크 스위치에서의 패킷 스케줄링 기법으로 제안된 Fair Queueing 기법은 각 사용자의 요구 비율에 따라 자원을 공정하게 배분할 수 있다.

IEEE 802.11 표준에 Fair Queueing 스케줄을 추가하여 각 세션의 요구비율에 비례하는 대역폭을 제공하려는 연구[4]와 Fair Queueing 기법을 무선 네트워크에 적용하여 이동성의 제과와 효율적인 자원 분배를 통해 사용자의 다양한 QoS 요구 지원에 대한 연구가 진행되었다[5-7]. 그러나, 무선 네트워크에 대한 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있기 때문에, 현재까지 뚜렷한 사용자 이동성을 제공하며 효과적으로 다양한 QoS 요구를 처리할 수 있는 기술은 아직 미비한 형편이다. 또한, 사용자의 QoS 요구를 정확히 수용하지 못하며 오류 발생시 효율적인 대처를 하지 못하고, 급격한 서비스 저하를 막지 못하는 단점을 갖는다. 이는 유선 네트워크에서 고려할 필요가 없었던 문제들이 무선 네트워크 환경에서 발생되기 때문이다. 문제의 가장 큰 원인은 이동 시스템의 기반인 무선 미디어 자원의 빈약성과 사용자 이동으로 인한 빈번

한 오류 발생 가능성이라 할 수 있다. 따라서 오류 발생으로 인해 사용자에게 실제 서비스되는 양과 QoS 요구에 의해 할당되었던 자원간의 불균형이 발생할 수 있기 때문에 유선 네트워크에서 사용하는 Fair Queueing 기법을 무선 네트워크 환경에 그대로 적용하는 것은 사용자의 QoS 보장에 문제점을 갖는다.

이에 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서도 사용자의 다양한 QoS 요구를 지원하고 오류 발생시 효율적인 대처와 급격한 서비스 품질 저하를 방지하는 패킷 서비스 기법(Service Graph based Fair Service; 이하 SGFS)을 제시한다. 2장에서는 본 논문의 배경과 관련 연구에 대해서 설명하고, 3장에서는 기존 문제에 대해서 해결 방안을 제시한 본 연구에 대해서 기술한다. 4장에서는 실험결과를 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 배경

Fair Queueing 기반의 스케줄링은 각 세션간의 공정성을 보장해 주어야 한다. 이런 공정성 보장을 위해서 Fair Queueing을 무선 네트워크 환경에 알고리즘의 수정없이 적용하는 것은 기존의 유선 네트워크 환경에서 고려하지 않았던 빈번한 오류 때문에 문제가 발생한다. 무선 네트워크에서 각 세션에 발생한 오류 등에도 상관없이 각 세션에 공정한 서비스를 제공해야 하는데 이를 위해서는 기존의 Fair Queueing에 무선 네트워크가 갖는 특성을 제어할 수 있는 다른 기법이 있어야 한다. 먼저, 이상적인 상황에서의 Packet Fair Queueing(PFQ)모델[2, 3]을 보고, 이 PFQ가 무선 네트워크에 적용되었을 때 나타날 수 있는 문제와 관련 연구에 대해서 설명한다.

Fair Queueing은 각 세션의 요구에 맞게 자원을 분배하는 기법으로 세션 i 가 가지는 자원의 공유치는 w_i 를 요구한 자원의 양이라 할 때

* 본 연구는 정보통신연구진흥원(과제번호 : 2000-202-01), 교육부(과제번호 : BK991031001)의 후원으로 연구되었습니다.

$f_i(t) = \frac{w_i}{\sum_{j \in Active} w_j}$ 로 주어지게 된다. 이 때, 임의의 구간 $[t, t+\Delta t]$ 에서 세션 i 가 받는 서비스는 $S_i(t, t+\Delta t) = f_i(t) \times \Delta t$ 가 되고, 일반화시키면 t 에 관한 적분의 형태인 $S_i(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} f_i(\tau) d\tau$ 로 나타낼 수 있다. Fair Queuing의 패킷 모델로의 적용은 Δt 를 현실적인 상황에 맞도록 bit 혹은 패킷 단위로 할당함으로써 이상적인 환경의 Fair Queuing을 패킷 모델로 확장할 수 있다. Fair Queuing에서의 특성은 스위치의 처리량 변화에 상관없이 각 세션에 독립적인 서비스 보장을 가능하게 한다. 그러나, 무선 네트워크 환경에서는 세션 오류가 빈번하게 발생하기 때문에 오류가 발생한 세션에 대한 보상 정책이 있어야 한다.

3. 서비스 적용 기법

3.1 오류 세션의 처리

일반적으로 오류가 발생한 세션에서 오류가 없었을 경우, 서비스의 보상을 위해 가상 시간의 값을 유지, 혹은 새로 재조정하는 하는 방법이 있다[5]. 가상 시간의 값을 그대로 유지할 경우에는 오류가 발생한 세션의 가상 시간이 오류가 없었던 세션보다 상대적으로 작기 때문에, 오류가 발생한 세션이 그 동안 받지 못한 서비스를 한꺼번에 받게 된다. 이럴 경우, 오류가 없었던 세션은 서비스를 받지 못하게 되는데, 이것은 오류가 없었던 세션은 자신의 오류가 아님에도 서비스를 받지 못하기 때문에 불공정하게 된다. 이와는 반대로 가상 시간 값을 새로 갱신할 경우에는 오류를 경험한 세션이 오류가 발생한 동안의 서비스를 받지 못하게 되므로, 전체적인 평등을 유지할 수 없게 된다.

본 논문에서 제시한 SGFS는 세션이 오류에서 회복되었을 때, 모든 세션의 가상 시간은 0으로 설정하고, 공정성 보장의 제공을 위해서 세션의 가중치 재조정 과정을 거친다.

3.2 세션의 가중치 계산

M_i 는 세션이 갖는 최소 대역폭이고, T 는 세션의 가중치가 재조정 되는 구간으로 그림1의 $\beta - \alpha$ 로 계산되어진다. $S^*(t)$ 는 예약된 서비스 그래프를, $S(t)$ 는 실제 서비스 그래프를 나타낸다. T 를 구하는 구체적인 방법은 3.3절에서 설명한다.

임의의 세션이 오류상태일 때 세션의 가중치 $R_i(t)$ 는 다음과 같다.

$$R_i(t) = \begin{cases} \frac{w_i}{\sum_{j \in Active} w_j}, & (\text{오류가 없는 세션}) \\ 0, & (\text{오류가 발생한 세션}) \end{cases} \quad (1)$$

오류를 경험한 세션이 오류에서 회복되었을 경우, 가중치 $R_i(t)$ 는 다음과 같다.

$$R_i(t) = \begin{cases} M_i, & (\text{오류가 없는 세션}) \\ \frac{S^*(t+T) - S(t)}{T}, & (\text{오류에서 회복한 세션}) \end{cases} \quad (2)$$

정상적인 서비스를 받게 되면 다시 원래의 가중치로 서비스를 받게 된다.

3.3 서비스 적용 구간 설정

서비스 적용 구간 설정에 있어서 오류가 없었던 세션의 QoS가 급격히 떨어지는 것을 고려해야 한다. 서비스를 초기에 예약한 이상으로 받기는 했지만 이는 해당 세션의 책임은 아니다. 그래서, 오류를 경험한 세션이 정상적인 상태로 회복이 되었을 때, 추가적인 서비스를 받은 세

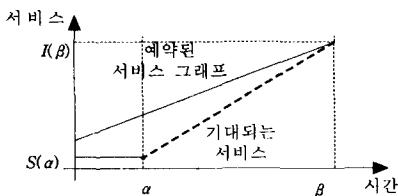


그림1 가중치의 계산

션에 최소한의 서비스는 주어지도록 서비스 적용 구간의 크기를 맞추어야 한다. 서비스 적용 구간의 크기가 작다면 기존에 제안된 방식이 가지는 단점인 기아상태가 발생할 수 있기에 충분한 크기로 잡아야 한다. 그러나, 너무 크게 잡을 경우 세션의 변화에 적절한 대응을 하지 못하게 되는 결과를 초래할 수가 있다.

SGFS의 서비스 적용 구간은 오류가 발생하지 않은 세션의 최소 가중치를 보장해 주는 범위를 가중치가 재계산되는 시점으로 정의한다. 이를 보기 위해서 Idealized Wireless Fair Queuing(IWFQ)에서 서비스 적용 구간이 어떤 성격을 갖는지 살펴보자.

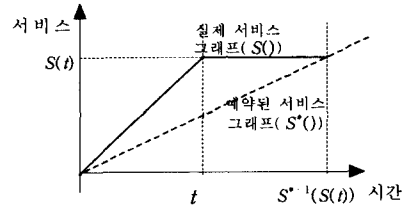


그림2 IWFQ의 서비스 적용 구간

IWFQ는 오류에서 회복한 세션에 오류 기간동안 받지 못한 서비스를 보상하기 위해서 이 오류 기간동안 예상되는 서비스 이상을 받은 세션(오류가 없었던 세션)에 대한 서비스를 중단한다. 그 결과 생기는 네트워크의 대역폭을 모두 오류에서 회복한 세션에 할당함으로써 빠른 시간안에 정상적인 서비스를 되찾게 되도록하는 방법을 취한다. 그러나, 오류가 발생했던 세션에 서비스를 제공하기 위해서 무오류 세션에 대한 서비스를 강제적으로 중단한다. 이는 처음 예약한 이상으로 서비스를 받기는 했지만, 결과적으로 보면 오류의 피해를 직접적으로 받게 된다. 그림2는 t 까지 예약한 이상으로 서비스를 받은 세션이 오류가 발생한 세션의 서비스 정상화를 위해서 $[t, S^{*-1}(S(t))]$ 구간에서 전혀 서비스를 받지 못하는 상황을 나타내고 있다. 즉, 이 구간에서 세션의 가중치는 0이라고 볼 수 있다. IWFQ를 통한 서비스 그래프를 나타낸 그림2를 보면 IWFQ에서의 서비스 적용 구간은 $S^{*-1}(S(t)) - t$ 가 될 수 있다.

본 SGFS에서는 예외가 없는 세션에 최소보장 가중치를 할당하여 서비스 적용 구간을 구한다. 그림3에서 시각 t 에 오류가 없었을 경우 IWFQ와는 달리 최소한 M 의 가중치를 부여하여 예상되는 서비스와 만나는 시간인 $t+T$ 를 계산한다. 이는 다음의 수식을 풀어 구할 수가 있다.

$$S^*(t+T) - S(t) = M \times T$$

SGFS를 통해서 서비스를 하게 되면 IWFQ보다 정상적인 서비스를 회복하는데 걸리는 시간은 조금 늘어나게 되지만 오류가 없었던 세션의 급격한 서비스 저하를 막을 수 있게 된다.

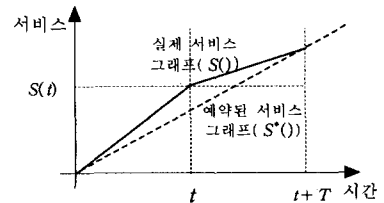


그림3 본 제안의 서비스 적용 구간

3.4 서비스와 지연시간 보장

이번 절에서는 세션이 오류에서 회복되었을 경우 서비스 적용 구간이 지난 후 세션에 대한 정상적인 서비스 보장과 서비스 적용 구간에서의 지연시간과 처리량 보장에 대해서 설명한다.

정리1 서비스 보장. 모든 세션이 오류에서 회복되고, 서비스 적용 구간이 지난 후 SGFS에서 제안한 방식에 의해서 각 세션이 받는 서비스는 다음과 같다.

$$S(0, t+T) \approx S^*(0, t+T) \quad (3)$$

증명: 서비스 적용 구간의 범위가 T 이고 t 에서 다음의 관계가 있을 때,

$$S(0, t) < S^*(0, t) \quad (4)$$

(S 는 초기 설정된 서비스 함수, S^* 는 오류가 없을 때의 WFQ)

t 이후 세션의 변경된 가중치는

$$r = \frac{S^*(0, t+T) - S(0, t)}{T} \quad (5)$$

와 같이 되기 때문에 전체 시간 동안 받은 서비스는 다음과 같게 된다.

$$\frac{S^*(0, t+T) - S(0, t)}{T} \times T + S(0, t) \quad (6)$$

식(6)에 의해서 해당 세션이 주어진 서비스를 받게 된다. □

정리2 지연시간 보장. 현재 시스템에 있는 lag값의 총합을 B , 시스템의 용량을 C 라고 할 때 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$D \leq D^* + B/C \quad (7)$$

(D 는 SGFS의 패킷 지연시간,

D^* 는 오류가 없을 경우의 WFQ의 패킷 지연시간)

증명: t 에서 오류가 없을 경우의 WFQ에 의해서 서비스되기를 기다리는 패킷을 p 라 하면(t 이전에서는 $0, 1, 2, \dots, p-1$ 의 패킷이 서비스를 받았음) 각 패킷의 가상 시간이 $F_p \leq F_{p+1} \leq F_{p+2} \leq \dots$ 인 관계가 있다면 p 를 제일 먼저 서비스해야 한다. SGFS에서 t 시간에는 오류가 없을 경우의 WFQ와 마찬가지로 p 를 서비스해야 한다. 그러나, 이때 $q, q+1, \dots, p-1, p, p+1, \dots$ 등의 패킷이 서비스를 기다린다면 먼저 p 이전의 패킷을 모두 서비스를 해야 한다. 즉, $S = \{q, q+1, \dots, p-1\}$ 는 lag 세션에 속한 패킷임을 알 수가 있다. S 에 속한 패킷을 모두 서비스한 후에 p 를 서비스할 수 있기 때문에 오류가 없을 경우의 WFQ보다 $\sum_{i \in S} lag_i/C$ 만큼을 더 기다려야 한다. □

4. 성능 평가

다음은 구간[5, 50]까지 세션 오류가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우에 대해서 대역폭의 변화와 시간당 받은 서비스의 양에 대한 그림이다. 오류가 발생하지 않았을 경우, 가중치가 같은 3개의 세션에 대해서 시간에 대한 대역폭의 변화를 그림4에 나타내었고, 각 세션이 받는 서비스는 그림5에 나타내었다. 그림4에서 시간의 변화에 따라서 각 세션은 평균적으로 2Mbps의 대역폭을 할당받을 수 있다. 그림5는 그림4의 대역폭을 바탕으로 각 세션이 시간당 받은 bytes를 그래프로 나타낸 것으로 시각 50에서 모두 동일한 서비스를 받음을 알 수 있다. 그림6은 세션2가 [5, 15]구간동안 오류가 발생하였을 경우 대역폭의 변화를 나타낸다. 오류가 발생하지 않은 세션1, 3은 세션2의 대역폭을 사용하게 됨으로 [5, 15]구간에서 평균 3Mbps의 대역폭을 할당받는다. 세션2가 오류에서 회복되는 시점인 15에서 서비스 적용 구간이 [15, 25]로 계산되고, 이 구간동안 세션2는 평균 4Mbps, 세션1, 3은 평균 1Mbps의 대역폭으로 서비스를 받는다. 서비스가 정상으로 이루어 지는

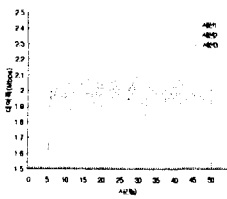


그림4 정상서비스-대역폭

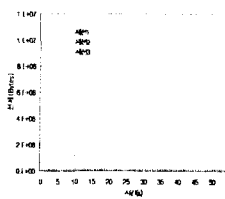


그림5 정상서비스-전송량

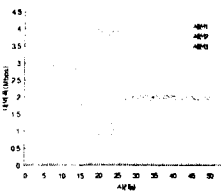


그림6 오류서비스-대역폭

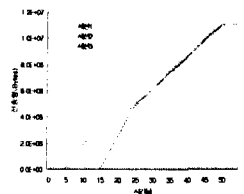


그림7 오류서비스-전송량

25에서 각각의 세션은 다시 초기 설정된 가중치로 서비스를 받는다. 시간당 각 세션이 받는 서비스를 나타낸 그림5와 그림7에서 전체 구간동안 각 세션이 받는 서비스가 같음을 알 수 있다.

5. 결론

사용자의 독립적인 서비스 보장과 자원의 공정한 분배를 위한 Fair Queueing 기법을 무선 네트워크 환경에 직접적으로 적용하는 것은 무리가 있다. 무선 네트워크 환경에서는 유선 네트워크 환경과는 달리 오류의 발생이 빈번한데, 이런 오류의 발생은 Fair Queueing 기법을 사용하였을 경우 세션 서비스에 불균형을 가져오게 된다. 본 논문에서는 Fair Queueing 기법의 세션 가중치를 재설정하는 방법을 통해서 오류가 발생한 경우에도 전체적인 서비스의 공정함을 제공하는 SGFS를 제안하였다. 모의실험에서 오류가 발생한 세션은 오류에서 회복되었을 때 예약한 서비스를 회복하기 위해서 높은 대역폭이 할당되어 전체적인 서비스가 공정함을 볼 수 있다. 또한 기존 연구가 갖는 단점인 세션의 휴지상태를 제거함으로써 오류 발생시 급격한 서비스 품질 저하를 방지하면서 정상적인 서비스를 회복하는데 걸리는 시간을 줄일 수 있다.

[참고문헌]

- [1] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm", Proc. of ACM SIGCOMM'89, pp 3-12, 1989.
- [2] J. C. R. Bennett and H. Zhang, "WF²Q: Worst-case fair weighted fair queueing", Proc. of IEEE INFOCOM'96, pp. 120-128, March 1996.
- [3] H. Zhang, "Service disciplines for guaranteed performance service in packet-switching networks", Proc. of IEEE, vol. 83(10), pp. 1374-1399, October 1995
- [4] N. H. Vaidya, P. Bahl, and S. Gupta, Distributed Fair Scheduling in a Wireless LAN, Accepted : Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, August 2000.
- [5] P. Goyal, H. Vin, and H. Cheng, "Start-time fair queueing: A scheduling algorithm for integrated services packet switching networks", Proc. of CC. vol. 26, pp. 157-168, October 1996.
- [6] T. S. Eugene Ng, I. Stoica, and H. Zhang, "Packet fair queueing algorithms for wireless networks with location-dependent errors", Proc. of IEEE INFOCOM'98, pp. 1103-1111, March 1998.
- [7] S. Lu, V. Bharghavan and R. Srikant, "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks", IEEE/ACM Trans. on Networking 7(4), pp. 473-489, August 1999.