

무선망에서 공평성 향상을 위한 CSD-WRR 알고리즘

CSD-WRR Algorithm for Improving Fairness in Wireless Network

최승권, 신병곤*, 이병록**
중부대학교, (주)KT*, (주)유비테크놀로지**

Choi Seung-Kwon, Shin Byung-Gon*, Lee Byung-Rok**
Joongbu Univ., KT*, Ubicom technology**

요약

최근 실내외에서 사용될 수 있는 무선 네트워크 기술의 발전에 따라 모바일 단말을 이용한 멀티미디어 데이터 서비스가 점차 증가하는 추세이다. 무선 네트워크는 채널을 공유하며 전송 매체의 특성으로 인해 높은 에러율을 가진다. 따라서 다양한 환경에서 QoS(Quality of Service)를 제공하는데 많은 문제점을 가지고 있다. 본 논문은 전송 마감시한을 고려하여 서비스율을 보상하는 CSD-WRR(Channel State Dependent-WRR) 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안한 기법이 기존의 WRR에 비하여 마감시한 실패율과 공평성에서 우수한 성능을 보였다.

Abstract

Recently, multimedia data service using mobile terminal has been increased according to the development of wireless network technology which can be used in an indoor or outdoor environment. However, the wireless network shares the channel and it has a high error rate because of characteristics of transmission media. Therefore, it has a lot of problems for guaranteeing QoS(Quality of Services) in various requirements. This paper suggests a CSD-WRR(Channel State Dependent-WRR) method for compensating the service rate considering the transmission deadline. Simulation results show that the suggested method outperforms the conventional WRR in the view of the deadline miss rate and fairness.

I. 서론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다. 또한 이동성을 요구하는 사용자들의 요구에 맞추어 언제, 어디서나 사용할 수 있는 무선 네트워크의 사용이 증가하고 있다. 그러나 무선 네트워크는 특성상 유선 네트워크와 많은 차이점을 가지고 있다. 무선 채널은 유선 채널과 달리 사용자 위치에 따라 그리고 시간에 따라 채널 용량이 변화하는 특성을 지닌다. 또한, 무선 네트워크에서는 버스트하고 위치 의존적인 에러를 가지는 무선 채널이 존재하기 때문에 신뢰성 있는 유선 채널 기반의 네트워크에서 제공할 수 있는 다양한 요구의 QoS(Quality of Service)를 보장해 주는 데는 큰 어려움이 있다.

따라서, 본 논문에서는 실시간 세션의 특성을 고려하여 종료 시한을 결정하고, 오디오나 비디오와 같은 실시간 세션에 오류가 발생하여 서비스를 받지 못하는 경우 이를 실시간 서비스의 특성을 고려하여 보상을 하여주는 스케줄링 방법인 CSD-WRR(Channel State Dependent -WRR)을 제안한다.

II. CSD-WRR 스케줄링 알고리즘

유선 환경에서 사용되던 스케줄링 기법들은 무선 환경에서와 같이 많은 오류를 가지지 않으므로 그대로 사용하기에는 무리가 있다. 또한 그동안 연구되었던 무선 네트워크에서의 스케줄링 방법들도 서비스 양에 대한 공평성을 얻을 수는 있지만 실시간 세션에 대해서는 고려하지 않으므로 근래에 급증하고 있는 멀티미디어 데이터를 전송하는 데에는 적합하지 않다.

WRR[1]은 서비스 보상에 대한 개념이 없다. 따라서 CSD-WRR에서는 서비스 보상 알고리즘을 추가하였다. 물론 I-CSDPS과 같은 알고리즘은 라운드로빈을 기반으로 하며 손해본 서비스의 양을 저장하여 보상에 사용한다는 면에서 제안 기법과 유사하나 보상의 양이 한계만 정해져 있고 과도한 보상에 대한 대책이 없다. 그리고 실시간 세션에 대한 보상은 적합하지 않다.

일반적으로 기존에 제안되었던 무선 환경에서의 스케줄링 방법들은 오류에 의해 손해 본 서비스 양에 따라 보상을 하는 기법을 사용하였다[2][3]. 그러나, 이러한 방법의 스케줄링은 오류에 따른 지연 증가, 한 세션의 보상에 따른 다른 세션의 지연시간 증가를 고려하지 않기 때문에 실시간 세션에 적합하지

않다.

1 기본 개념

무선 네트워크 환경에서는 유선 네트워크와 달리 오류가 위치 의존적이고 버스트하게 발생하는 경향이 있다. 이에 반하여 유선 네트워크에서는 오류의 발생률이 매우 작을 뿐 아니라 오류가 발생하였다 하더라도 추후에 보상을 해주면 공평성을 유지할 수 있다. 그러나 무선 네트워크에서는 추후에 보상할 만한 충분한 대역폭을 가지고 있지 못하며 보상이 가능하다 하더라도 실시간 세션에 대해서는 이미 전송 종료시간이 지나 소용없는 데이터들을 보상해주게 된다. 또한 WRR과 같은 작업 보존형의 스케줄링 알고리즘을 사용하는 경우 한 세션의 오류로 인해 자신은 서비스를 받지 못하지만 다른 세션은 상대방의 오류로 인해 추가의 서비스를 받게 된다. 따라서 어떠한 경우에는 스케줄러 내에서의 종료시한을 지킬 것으로 생각했던 패킷이 오류로 인해 전송되지 못할 수도 있고 또한 종료시한을 지키지 못할 것으로 생각했던 패킷이 상대방의 오류로 인해 이득을 보는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 이러한 정보를 표현하기 위해 다음과 같은 개념을 도입한다.

- Pi_{gain} : 세션 i 에서 다른 세션의 오류로 인하여 추가의 서비스를 받아 이득을 본 패킷의 개수
- Pi_{loss} : 세션 i 에서 종료시한을 지킬 것으로 예상했으나 자신의 오류, 또는 다른 세션의 보상으로 인하여 서비스를 받지 못해 전송되지 못한 패킷의 개수

상기의 두 가지 종류의 정보를 사용하면 한 세션의 서비스에 대해서 현재 상태와 오류로 인한 손해의 양, 또는 다른 세션의 오류로 인해 이득을 본 양을 알 수 있다. 또한, 이러한 정보들을 하나로 취합하기 위하여 지연차(delay differences)라는 개념을 도입한다. 지연차란 한 세션이 현재 얼마나 이득을 보거나 손해를 보고 있는지를 측정하는 척도가 되며 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$Diff_i = Pi_{gain} - Pi_{loss}$$

상기의 식을 사용하여 지연차가 음수의 값을 가지면 서비스를 올리고, 양수의 값을 가지면 서비스를 내리는 방식으로 오류 보상의 정도를 조절할 수 있다. 여기서 $Diff_i > 0$ 이면 세션 i 는 선행 세션으로 정의하며 이는 전송 종료시간까지 여유가 남아있으며 이상적인 경우보다 이득을 보고 있는 상황을 나타낸다. $Diff_i < 0$ 이면 세션 i 는 후행 세션으로 세션의 오류 또는 다른 세션의 보상으로 인해 전송 종료시한까지 여유가 없는

세션을 나타낸다. 그리고, $Diff_i = 0$ 이면 세션 i 는 중족 세션으로 정의한다. $Diff_i$ 값은 새로운 세션이 생성될 때마다 세션별로 하나의 카운터로 할당되며 이 세션의 스케줄링 상태를 지속적으로 모니터링 하여 카운터 값을 유지하게 된다.

따라서 스케줄러에서는 각 세션마다 $Diff_i$ 값을 유지하면서 현재 세션이 이득을 보고 있는가 손해를 보고 있는가를 판단한다. 그리고 이 판단에 따라 다음 주기에 이것을 어떻게 보상해 줄 것인가를 결정하게 된다.

2 알고리즘

본 논문에서 제안하는 CSD-WRR 기법은 WRR에 비해 두 단계의 과정을 추가로 요구한다. 먼저 지연차를 유지하는 과정이 필요하다. 이는 각 세션마다 패킷이 도착할 때 Pi_{gain} , Pi_{loss} 를 측정하여 $Diff_i$ 를 새로 계산해낸다. 따라서 이 지연차 값을 보면 현재 이 패킷이 종료시한을 지킬 수 있는가 없는가에 대한 정보와 현재 세션이 이득을 보고 있는지 손해를 보고 있는지를 알 수 있다. 따라서 지연차의 값이 0이 아닌 경우에는 이 세션에 대한 보상 또는 양보가 필요하게 된다.

보상 과정은 다음과 같이 동작한다. 각 세션별로 유지하고 있는 지연차 $Diff_i$ 를 사용하여 서비스를 w'_i 를 조정한다. 만약 어떠한 이유로 세션이 이익을 보는 경우 보다 손해를 보는 경우가 많아서 지연차가 0보다 작은 경우에는 서비스를 증가시킨다. 서비스를 증가에 대한 계산은 다음과 같다.

$$w'_i = w'_{i-1} + \frac{|Diff_i|}{\alpha}$$

반대로 만약 이익을 보는 경우가 더 많으면 지연차가 0보다 더 크게 되며 서비스를 감소시킨다. 이 때 감소시키는 정도는 다음 식을 따른다.

$$w'_i = w'_{i-1} - \frac{|Diff_i|}{\alpha}$$

위 식에서 w'_i 는 현주기에서의 가중치, w'_{i-1} 은 전주기에서의 가중치를 나타내며, α 는 보상 계수이다. 여기서 보상계수를 사용한 이유는 한 세션의 보상을 위해 가중치를 증가시킬 경우 다른 세션들이 단기적으로 손해를 보게 된다. 따라서 네트워크 상황에 맞추어 보상계수를 결정함으로써 점진적으로 보상을 수행하도록 한다. 이에 따라 α 와 지연차 $Diff_i$ 에 의해 나온 값을 이전 사이클에서의 가중치 w'_{i-1} 에 더하여 변경된 가중치 w'_i 로 서비스하게 된다. 이러한 순서로 서비스를 조정하여 스케줄링을 하게 되면 지연차 값이 다시 0으로 돌아오게 되며 공평성을 높일 수 있다.

III. 실험 및 결과 분석

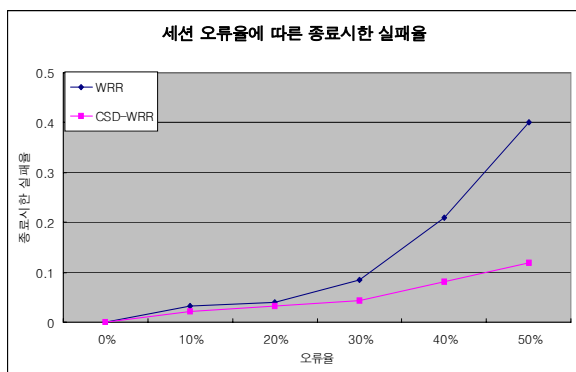
제안하는 CSD-WRR 기법은 WRR을 기반으로 하였다. WRR을 사용한 이유는 현재 널리 사용되고 있는 시스템이며 주기별로 가중치의 변경이 가능하다는 점을 들 수 있다. 이에 따라 지연차 $Diff$ 에 따라 주기마다 가중치를 변경함으로써 다른 세션에 영향을 최대한 작게 주면서 손실을 보상받을 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 WRR은 지연시간 보장 면에서도 다른 알고리즘에 비해 좀더 나은 성능을 보여준다. 따라서 본 논문에서는 WRR을 기반으로 공평성을 향상시킬 수 있는 스케줄링 방법을 생각하였으며 제안 알고리즘과 WRR을 비교하여 실험에 사용하였다.

CSD-WRR은 각 세션에 패킷이 도착할 때 마다 지연차 값을 계산하여 이를 유지하도록 하고 있다. 이는 현재까지의 세션 오류율과 스케줄링 상태로 판단한다.

1 세션 오류율에 따른 종료시한 실패율

첫 번째 실험은 세션 1에 오류가 발생할 경우 WRR과 제안한 알고리즘의 스케줄링 결과를 알아보는 실험이다. 두 가지 모두 오류가 발생하였다고 가정하였을 때 WRR과 종료시한 실패율을 비교하였다. 기본적으로 WRR은 오류 상황을 고려하지 않는 스케줄링 기법이고 본 논문에서 제안하는 CSD-WRR은 종료시한의 관점에서 오류를 보상하는 스케줄링 기법이므로 제안 알고리즘이 종료시한 실패율을 낮출 것으로 예상할 수 있다.

CSD-WRR은 채널에 오류가 발생하여 서비스를 받지 못할 경우 $Diff$ 값에 따라 점진적으로 보상하도록 하였다. 서비스율의 보상은 각 라운드마다 가중치를 변경하는 방식으로 이루어지게 된다. 다음의 그림 3은 한 세션(세션 1)에 대해서만 오류가 발생하였다고 가정하고 이 세션의 오류율의 변화에 따른 종료시한 실패율의 변화를 나타내었다. 종료시한 실패율은 전송되어야 할 전체 패킷 수와 전송 종료시한 내에 전송되지 못한 패킷의 비율로 정의한다.

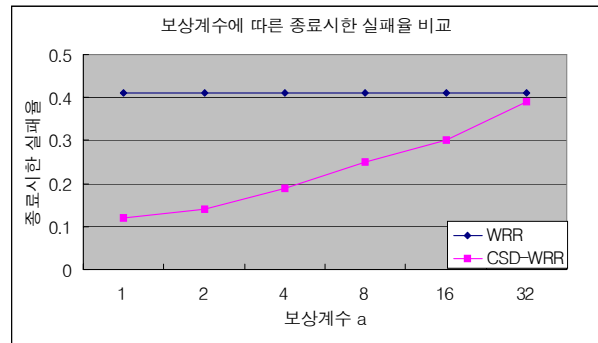


▶▶ 그림 3. 세션 오류율에 따른 종료시한 실패율

그림에서 보는 바와 같이 실시간 서비스의 종료시한을 고려하였을 경우 WRR은 오류율이 증가할수록 종료시한 실패율이 높아진다. 물론 CSD-WRR의 경우도 오류의 증가는 종료시한 실패율로 이어지지만 오류에 따른 보상이 적용되어 종료시한 실패율이 WRR보다 낮음을 볼 수 있다.

2 α 값에 따른 종료시한 실패율

다음은 보상계수 α 를 변화시키면서 종료시한 공평성을 비교하여 보았다. 일반적인 경우를 생각해볼 때 보상계수가 큰 경우, 서비스의 보상이 매우 느리게 이루어지며, 보상계수가 작을 경우 서비스의 보상이 단기간 내에 처리가 된다. 그러나 서비스의 보상이 크다는 것은 WRR과 같은 작업 보존형 스케줄링 방법의 특성상 다른 세션에 손해를 줄 수 있는 여지를 가지고 있다.



▶▶ 그림 4. 보상계수 α 에 따른 종료시한 실패율

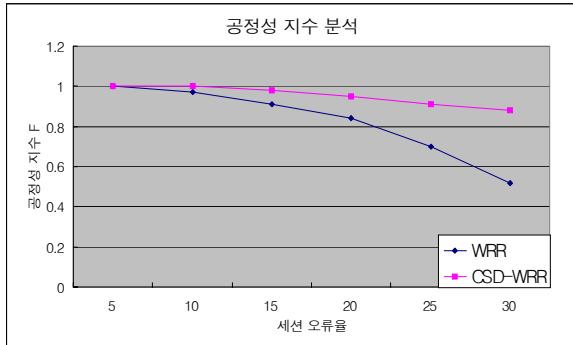
본 논문에서 가정한 네트워크에서 세션 1에 대하여 보상계수를 변화시키면서 종료시한 실패율을 살펴본 결과는 그림 4와 같다. 여기에서는 WRR과 종료시한 실패율을 명확히 하기위해 상대적으로 높은 50%의 세션 오류율을 가정하고 실험하였다.

그림에서 보는 바와 같이 WRR은 보상계수가 없으므로 오류율이 50%인 경우 지속적으로 0.41 정도의 종료시한 실패율을 보인다. 제안한 CSD-WRR에서는 보상계수가 작으면 오류로 인해 손해를 보았던 서비스의 보상이 단기간에 이루어져 한 세션의 관점에서 보면 보상계수가 작으면 성능이 우수한 것으로 보인다. 그러나 이것은 한 세션의 관점이고 전체 세션의 관점으로 보았을 때 다른 세션에 손해를 주지 않고 오류를 보상해주었다고는 할 수 없다.

3 공평성 지수 분석

그림 5는 WRR과 CSD-WRR의 공평성 지수를 실험한 결과이다. 여기에서는 오류율을 변화시키면서 공평성 지수의 변화를 살펴보았다. 그림에서 보듯이 세션에 오류가 없을 경우에는 두 가지 모두 별다른 차이를 보이지 않으나 오류가 심화될수록 WRR에서는 공평성 지수가 낮아진다. 그러나 CSD-

WRR은 오류에 따른 서비스 보상을 즉각적으로 수행하기 때문에 오류율이 높은 경우에도 공평성을 유지해 줄 수 있다. 여기서 사용한 공평성 지수는 손실된 패킷들뿐만 아니라 실시간 세션에서 중요한 종료시한을 넘긴 패킷들까지 고려하므로 CSD-WRR이 오류율이 높은 경우에도 안정적인 공평성을 보여주며 실시간 세션에 더 적합하다 할 수 있다.



▶▶ 그림 5. 공평성 지수

■ 참고 문헌 ■

- [1] M. Katevinis, S. Sidiropoulos, and C. Courcoubetis, "Weighted Round Robin Cell Multiplexing in a General-Purpose ATM Switch Chip," *IEEE Journal of Selected Area in Communications*, IEEE, Sep. 1991.
- [2] Y. Liu, S. Gruhl, and E. W. Knightly, "WCFQ: An Opportunistic Wireless Scheduler with Statistical Fairness Bounds," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.2, No.5, Sep. 2003.
- [3] M. Liu, L. B. Milstein, and R. Rao, "Wireless Random Scheduling Protocol with Realistic Channel Conditions," *IEEE MILCOM'03, Boston*, Sep. 2003.
- [4] A. Parekh, A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks, PhD Thesis MIT Laboratory for Information and Decision Systems, Technical Report LIDS-TR-2089, 1992.

IV. 결 론

최근 통신 서비스 사용자들의 요구 증가와 다양한 멀티미디어 서비스들이 제공되면서 무선 네트워크의 중요성이 증대되었다. 그러나 무선 네트워크의 특성상 기존에 제안되었던 스케줄링 방법들은 멀티미디어와 같은 실시간 서비스를 제공하는 데 적합하지 못하며, 공평성을 제공하는 데에도 부적절하다.

이에 따라 본 논문에서는 무선 네트워크에서 공평성 향상을 위한 CSD-WRR 기법을 제안하였으며, 실험 결과 전체 서비스에 대한 공평성과 종료시한 실패율 면에서 기존의 WRR 기법 보다 우수함을 보여주었다. 이는 기존의 기법들에 비해 이상적인 형태의 스케줄링을 제공할 수 있음을 보여준다. CSD-WRR은 오류가 없는 이상적인 채널 상태에 가까운 공평성을 제공할 수 있었으며 이는 보상계수 α 에 따라 달라질 수 있다. 본 논문의 실험 환경에서는 $\alpha=8$ 정도에서 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 CSD-WRR은 향후 무선 네트워크에서 실시간 데이터를 위한 스케줄링 방법으로 사용될 수 있을 것이다. 향후에는 보상계수 α 에 대한 심화된 연구가 필요할 것이며, WRR 이외의 다른 스케줄링 방법에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 보는 연구가 필요할 것이다.