

이동성을 지원하는 무선 네트워크 환경에서의 어댑티브 레이트 얼로케이션 알고리즘

강 유 화, 서 영 주
포항공과대학교 컴퓨터공학과

Adaptive Rate Allocation Algorithms in Wireless Mobile Networks

Yoo-Hwa Kang, Yeung-Joo Suh

Department of Computer Science & Engineering, Pohang University of Science & Technology

요 약

무선 네트워크 환경에서는 제한된 네트워크의 대역폭과 모바일 호스트의 잦은 이동성으로 인하여 다양한 종류의 트래픽(Traffic)에 대한 Quality of Service (QoS)를 보장하는 것이 어렵다 이러한 특징을 가지는 무선 네트워크 환경에서도 특정 종류의 트래픽 (예를 들어 실시간 트래픽)에 대하여 요구된 범위 내에서의 QoS 가 반드시 보장되어야 한다 본 논문에서는 이동성을 제공하는 무선 네트워크 환경에서 다양한 종류의 실시간 트래픽에 대해 QoS 를 보장하는 어댑티브 레이트 얼로케이션 알고리즘을 제안한다 제안된 레이트 얼로케이션 알고리즘은 이동성에 따라 변화하는 네트워크 자원 환경을 고려하여 각 트래픽의 QoS 를 최대한 보장하는 방향으로 레이트 (Rate)를 조절한다.

1. 서론

모바일 컴퓨팅 환경에서 다양한 종류의 트래픽에 대한 Quality of Service (QoS)를 보장하는 것은 중요한 문제이다 특히 실시간 서비스의 경우 일정한 범위 내의 전송지연을 요구한다. 이런 실시간 서비스를 지원하기 위해서 각 서비스가 요구하는 QoS 가 반드시 보장될 필요가 있다 [1,3,4]에서 언급된 바와 같이 일반적으로 실시간 서비스는 두 종류로 나눌 수 있는데, 하나는 Guaranteed 서비스로서 고정 값 이내의 전송지연을 가진다. 다른 하나는 Predicted 서비스로서 일정 범위 내에서의 전송지연을 가진다 이 밖에도 QoS 를 전혀 고려하지 않는 Best-effort 서비스도 있지만, 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 Predicted 서비스에 대한 QoS 를 지원하는 방법에 대해 언급한다

모바일 호스트의 잦은 이동성과 제한된 네트워크 대역폭을 가지는 무선 네트워크 환경에서 서비스가 요구하는 다양한 QoS 를 보장하기 위해서 네트워크 자원의 효율적인 사용이 필요하다 [5,6]. 무선 네트워크 자원 활용을 최대화 하기위해서, 모바일 호스트가 이동할 때마다 해당 네트워크의 제한된 자원을 각 서비스에게 동적으로 할당할 필요가 있다 [3,4,7] 따라서 서비스의 레이트 (Rate)는 해당 네트워크 자원 환경에 따라 조절될 수 있다 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 네트워크 자원 환경에 따라 동적으로 조절되는 레이트 얼로케이션 (Rate Allocation) 알고리즘을 제안한다 제안된 알고리즘에서는 각 서비스가 요구하는 QoS 에 비례하여 레이트를 조절함으로써, QoS 를 최대한 보장하는 공정한 서비스를 지원한다 또한 레이트가 조절되는 서비스의 수를 최대한 줄임으로써 네트워크 부하도 감소시킨다

[2,7]에서 제안된 레이트 얼로케이션 알고리즘에 대해 2장에서 언급하고 3장에서 새로운 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘을 비교 분석하고 5장에서 본 논문을 요약한다

2. 레이트 얼로케이션 알고리즘

서비스의 요구량이 해당 네트워크가 가진 대역폭 이상일 경우 일정 수의 서비스가 중지되거나 서비스의 레이트가 조절될 수 있다. 대다수의 서비스는 일정한 범위 내에서 서비스의 레이트를 조절할 수 있는 특성을 가진다. 즉, 적어도 QoS 최소 요구량 이상의 서비스가 보장되는 한 QoS 의 최소 요구량과 최대 요구량 범위 내에서 서비스의 레이트 조절이 가

능하다 이러한 서비스의 특징을 이용하여 네트워크의 과부하 발생 시 서비스의 레이트를 주어진 QoS 범위 내에서 줄임으로써 과부하 문제는 해결될 수 있다.

네트워크 자원의 활용성을 높이면서 동시에 QoS 를 보장을 최대화 하기 위해서는 각 서비스에게 동적으로 할당되는 네트워크 자원을 효율적인 방법으로 분배하여야 한다 각 서비스 플로우(Flow)에 대한 효율적인 네트워크 자원의 할당은 공정성 (Fairness)과 네트워크 부하 (Overhead)라는 두 가지 원칙을 따른다 [7] 공정성은 네트워크 자원을 어떤 서비스에게 어떻게 적용하는가의 문제와 관련되어 있고, 네트워크 부하는 서비스의 레이트 조절 시 주고받는 메시지의 양에 관련되어 있다. 따라서 두 가지 원칙은 상반되는 경우로, 레이트가 조절되는 서비스의 수가 증가할수록 각 서비스에 대한 공정성은 잘 보장되는 반면 네트워크 부하는 높아진다

Chamy [2]가 제안한 Max-Min Fair 레이트 얼로케이션 알고리즘은 네트워크상의 모든 플로우에 대해 공평한 레이트를 제공한다 Lu [3,4]는 Max-Min Fair 레이트 얼로케이션 알고리즘을 무선 네트워크 환경에 적용시켰으나 잦은 이동성으로 인하여 네트워크 과부하를 야기시킬 수 있다. Talukdar [7]는 모바일 컴퓨팅 환경에서 네트워크 부하 측면을 개선한 레이트 얼로케이션 알고리즘 (Minimum Adaptation, Fair Adaptation, Average-Fair Adaptation)을 제안하였다 제안된 알고리즘에서는 각 서비스 플로우에 대해 'Availability'와 'Demand'라는 두 가지 값을 가진다 Availability는 서비스 플로우의 최소 대역폭 요구량이 보장되는 범위 내에서 해제할 수 있는 최대 대역폭 (현재 할당된 대역폭과 최소 대역폭과의 차)을 말한다 Demand는 각 플로우가 서비스의 레이트를 향상시키기 위해서 요구할 수 있는 최대 대역폭 (최대 대역폭 요구량과 현재 할당된 대역폭과의 차)을 의미한다 네트워크상의 각 링크는 Avail_list와 Degraded_list의 두 Data Structure에서 링크상의 모든 서비스 플로우에 대한 Availability와 Demand 값을 내림차순으로 정렬하여 관리하고 있다

2.1 Minimum Adaptation

하나의 셀(Cell)에 새로운 플로우가 들어왔을 때 이 플로우에 대한 서비스를 제공할 수 있는 충분한 여분의 대역폭이 있을 경우에는 서비스의 요구 양만큼 대역폭을 할당한다. 충분한 대역폭이 없는 경우, 단일 셀의 모든 서비스가 최소 대역폭을 가지고 수행될 경우 새로운 플로우에 대한 서비스를 제공할 수 있다면 서비스의 레이트를 줄이는 Degrad 알고

리즘을 수행하고, 그렇지 못할 경우에는 새로운 서비스를 중지시킨다. Degrade 알고리즘에서는 요구되는 서비스 양에 대한 링크의 부족한 네트워크 대역폭 양을 계산하여 부족 양이 해결될 때까지 Avail_list의 Availability 값이 큰 플로우부터 순차적으로 최소 대역폭을 할당함으로써 플로우의 레이트를 감소시킨다

플로우가 다른 셀로 이동하거나 종료되면 Upgrade 알고리즘을 수행하는 데, 최대 대역폭 이하로 서비스 받고 있는 플로우가 있을 경우 링크의 여분의 대역폭을 계산하여 Degraded_list에서 Demand 값이 큰 플로우부터 순차적으로 최대 대역폭으로 할당함으로써 레이트를 향상시킨다

2.2 Fair Adaptation

새로운 플로우가 발생하거나 종료, 또는 핸드오프(Handoff) 시에 Degrade 또는 Upgrade 알고리즘이 수행될 수 있다. 이 때 네트워크 대역폭의 부족분 또는 여유분을 모든 플로우에게 동일한 양으로 할당한다.

2.3 Average-Fair Adaptation

Avail_list, Degraded_list에서는 각 플로우에 대한 Availability, Demand 값 외에도 Relative Average Bandwidth 라는 값을 쌍으로 관리하여 레이트 조정 시에 첫번째 기준 값으로 사용된다. Relative Average Bandwidth는 최대 대역폭 요구량에 대한 현재 시작까지 서비스 받은 총 대역폭의 양을 미로 나타낸 것이다

Degrade 또는 Upgrade 일고리즘 수행 시, Avail_list 또는 Degraded_list에서 Relative Average Bandwidth의 큰 값 또는 작은 값부터 순차적으로 선택하여 대역폭 부족분, 여유 분에 따라 적당 수의 플로우에 대해 레이트를 조절한다.

3. QoS를 고려한 레이트 할로케이션 알고리즘

앞 장에서 레이트 할로케이션의 기준으로 공정성과 네트워크 부하를 언급하였다. 여기에 덧붙여 또 다른 중요한 기준으로 QoS를 생각할 수 있다. 핸드오프 시 QoS 값이 서로 다른 플로우에 대해 같은 레이트로 조절된다면 공정한 서비스를 보장한다고 할 수 없다. 따라서 각 서비스의 레이트가 조정될 경우 반드시 서비스의 QoS가 고려되어야 한다.

Fair Adaptation 알고리즘에서는 네트워크 자원을 모든 플로우에게 동일하게 할당하기 때문에 다양한 종류의 QoS 값을 가지는 서비스들을 동시에 지원하기 어렵다. Minimum Adaptation 알고리즘에서는 Availability를 사용하는데, 이 값은 서비스의 최소 대역폭 요구량을 기준으로 현재 사용 대역폭에서 해제 가능한 대역폭의 양을 나타내는 질대값이다. 따라서 모든 서비스가 동일한 QoS 대역폭 범위를 가진다는 가정하에서 공정한 서비스를 제공할 수 있는 기준 값이 될 수 있다. 하지만 일반적으로 서비스의 최소 대역폭 요구량이 클수록 QoS의 대역폭 범위도 더 커지는 경향이 있다. 3.1 절에서 제시하는 알고리즘은 평균 Availability를 기준으로 레이트가 변경되는 플로우 수를 확대함으로써 서로 다른 QoS 범위를 가지는 플로우들에 대한 서비스의 공정성을 높인다.

Average-Fair Adaptation 알고리즘에서는 Relative Average Bandwidth를 사용하여 선택된 플로우에게 최소 또는 최대 대역폭을 할당하므로 레이트가 조정되는 플로우의 수는 소수이다. 따라서 장기간에 걸친 서비스의 공정성만을 보장할 수 있다. 하지만 새롭게 제안하는 알고리즘에서는 레이트가 조정되는 플로우의 수를 늘리고, 레이트 할로케이션 시 각각의 QoS 값에 비례하는 대역폭을 할당함으로써 매 순간 QoS에 따른 서비스의 공정성을 보장할 수 있다. 따라서 3.2 절에서 제시하는 알고리즘에서는 각 플로우의 Service Ratio(최대 대역폭 요구량에 대한 현재 서비스 받고 있는 대역폭의 비)를 구하여 레이트 할로케이션의 기준으로 사용한다. Service Ratio는 각각 다른 QoS 값을 가진 플로우에 대한 상대적인 서비스율을 나타내므로 QoS를 고려한 공정한 서비스를 지원할 수 있는 기준 값이 될 수 있다. 또한 네트워크 부하 측면을 고려하여 Degrade 또는

Upgrade 일고리즘 수행 시 Service Ratio 평균값을 기준으로 이상 또는 이하의 Service Ratio를 가지는 플로우에 대해서만 레이트를 조절한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{QoSspec } [B_m^i, B_c^i] \text{ - 플로우 } i \text{의 최소 대역폭 요구량과 최대 대역폭 요구량} \\
 & \text{Availability} = B_c^i - B_m^i \\
 & \text{Service Ratio} = B_c^i / B_m^i \\
 & A_i \text{ 한 셀에서의 전체 Availability 값} \\
 & B_x \text{ : 모든 속도 감소 대상 플로우들의 최대 대역폭의 합} \\
 & B_c^i \text{ : 플로우 } i \text{의 현재 사용중인 대역폭} \\
 & B_c^i = B_m^i - A_i * \frac{B_x^i}{B_x} \text{ : 속도 감소 대상 플로우의 조정된 대역폭}
 \end{aligned}$$

[그림 1] Average-Available & Ratio-Based Adaptation 알고리즘

3.1 Average-Available Adaptation

고바일 호스트는 최소 대역폭과 최대 대역폭을 QoS 값으로 가지고 네트워크상의 링크는 현재 수행중인 서비스 플로우들의 Availability 값이 내림차순으로 정렬된 Avail_list를 가진다

플로우가 새롭게 생성되거나 해당 셀로 이동하여 온 경우에 서비스의 할당, 중지 또는 Degrade 알고리즘이 수행된다. Degrade 알고리즘은 먼저 셀 내의 모든 서비스 중인 플로우들의 평균 Availability를 구한 다음 평균 값 이하의 Availability를 가지는 플로우는 레이트 감소 대상에서 제외시킨다. 제외된 플로우는 조정될 레이트보다 현재 서비스 중인 레이트의 값이 더 적을 가능성이 크기 때문이다. 그리고 셀의 전체의 Availability 값을 구하여 선택된 플로우에 대해 각각의 QoS 값에 비례하는 대역폭을 할당하여 레이트를 감소시킨다

서비스 중인 플로우가 해당 셀에서 이동하여 나가거나 종료되는 경우에는 Upgrade 알고리즘이 수행된다. 이 때 해당 플로우를 제외한 나머지 플로우들에 대한 평균 Availability 값을 구하고 평균 값 미만의 Availability 값을 가지는 플로우에 대해서만 레이트를 향상시킨다. 평균 이상의 Availability 값을 가지는 플로우는 향상될 레이트 값 이상으로 현재 서비스 중인 가능성이 크므로 레이트를 향상시키지 않는다. 셀 내의 전체 Availability를 구한 다음 플로우의 QoS 값에 비례하여 레이트를 조정한다

3.2 Ratio-Based Adaptation

서로 다른 QoS 범위 값을 가지는 다양한 서비스를 지원하기 위해, 레이트를 조정할 경우 Service Ratio를 공정성의 기준 값으로 사용한다. Service Ratio는 서비스의 최대 대역폭 요구량에 대한 현재 사용중인 대역폭의 비로서 서로 다른 QoS에 대한 상대적인 값을 나타낸다.

링크는 Avail_list와 달리 해당 플로우들의 Service Ratio가 내림차순으로 정렬된 Ratio_list를 가진다. Degrade 알고리즘에서는 먼저 새로운 플로우를 포함한 링크 상의 모든 플로우들의 평균 Service Ratio를 구하고 Ratio_list에서 평균 Service Ratio 이상의 값을 가진 플로우에 대해서만 레이트를 감소시킨다. 즉 링크에서 제공될 수 있는 평균 서비스율 이상의 레이트로 서비스 중인 플로우만을 레이트 감소의 대상으로 선택한다.

Upgrade 알고리즘을 수행 시에는 Ratio_list에서 평균 Service Ratio 이하의 Service Ratio를 가진 플로우를 선택하여 링크 대역폭의 여유 분에 대해 각 서비스 플로우의 QoS 값에 비례하여 레이트를 향상시킨다.

4. 성능 평가

각 알고리즘 성능을 평가를 위해서 고정된 하나의 중심 노드들 기준으로 10개의 Base Station이 연결된 스타 형태(Star Topology)의 네트워크 구조를 구성하며, 각 Base Station은 무선 셀을 담당한다. 한 셀에서 모바일 호스트는 인접한 두 개의 셀로 이동할 수 있으며, 플로우는 중심 노드에서 생성되고 각 셀의 모바일 호스트로 흐르는 Unicast 데이터를 가정한다

시뮬레이션에 사용된 환경 변수와 각기 다른 QoS 범위 값을 가지는 3 가지 종류의 서비스 클래스는 다음과 같다

- 평균 플로우 도착률 포아송 (Poisson) 분포, $\lambda = 1/3$ (flows/sec)
- 플로우 지속 시간 : 300 초
- 셀 용량 : 10 Mbps
- 서비스 클래스 [최소 대역폭, 최대 대역폭 요구량] (Kbps)
서비스 클래스 1 : [64, 256] / 2 : [256, 1024] / 3 : [1024, 2048]

성능 평가의 척도로써 time_count 와 var_bw_var 값을 사용하였다 [7] time_count 는 초당 레이트가 변경되는 플로우 수 (#flows/sec)로서 네트워크 무하를 나타낼 수 있다 var_bw_var 는 각 플로우가 지속 기간동안 받은 서비스의 분산을 구한 다음, 각 플로우의 분산 값에 대한 전체 플로우의 분산을 구한 값으로 공정성을 나타내는 척도로 사용된다 이 두 가지 값을 평균 이동율 (Mobility Rate)에 따라 구한 결과 값이 [그림 2]와 [그림 3]에 각각 나타나 있다. 이 때 평균 이동율은 포아송 분포를 따르며 λ (#moves/sec) 값을 변경하여 달리하였다.

모바일 호스트의 이동율이 증가하면 레이트 일로케이션 알고리즘이 더 자주 수행되어 레이트가 변경되는 플로우의 수가 많아지게 된다. 따라서 그만큼 네트워크 부하는 높아진다. [그림 2]에서 Average-Available 과 Ratio-Based 알고리즘은 중간 값 정도의 네트워크 부하를 보이지만 Average-Fair 알고리즘에 더 가까운 값을 보임을 알 수 있다

각 플로우가 서비스 받고 있는 레이트에 대한 분산 값이 작을수록 매 순간에 걸쳐 QoS 값에 따른 일정한 레이트를 유지한다는 것을 의미한다. [그림 3]에서 Fair 알고리즘과 Average-Fair 알고리즘은 전체적으로 큰 분산 값을 가질 뿐 아니라, 모바일 호스트가 한 셀에 머무르는 시간이 17 초 (이동율, $\lambda=0.6$) 이상인 경우에는 분산의 변동폭이 상당히 커서 다양한 QoS를 보장하기 어렵다. Fair 알고리즘은 모든 플로우를 거의 같은 레이트로 조정하고, Average-Fair 알고리즘은 레이트가 조정되는 플로우의 수가 너무 적기 때문이다. 두 알고리즘은 이동율이 높아져 레이트를 조정하는 횟수가 많아짐으로써, 어느 정도의 분산 변동폭을 유지하고 있음을 보인다 Average-Available 과 Ratio-Based 알고리즘은 낮은 분산 값을 유지하며, 기존의 알고리즘과도 큰 차이를 보인다. 특히 Ratio-Based 알고리즘의 경우에는 이동율의 증가와 상관없이 낮은 분산 값을 지속적으로 유지하고 있음을 보여준다

따라서 Fair 와 Average-Fair 알고리즘은 이동율이 높거나 플로우의 지속 기간이 길어 알고리즘 수행 횟수가 많아지는 한정된 상황에서만 다양한 QoS를 어느 정도 보장할 수 있다 하지만 Average-Available 과 Ratio-Based 알고리즘은 각 플로우의 QoS 값에 비하여 레이트를 조절하기 때문에 알고리즘 수행 횟수와 이동율, QoS의 종류, 서비스의 지속 기간 등 어떠한 가변적인 상황에서도 다양한 종류의 QoS를 보장할 수 있다 따라서 QoS 종류가 더 다양한 상황에서는 [그림 3]에서 기존의 알고리즘과 새롭게 제안된 알고리즘과의 분산 값의 차가 더 심해질 것이다

5. 결론

모바일 호스트의 잦은 이동성과 제한된 네트워크 대역폭을 가지는 무선 네트워크 환경에서 다양한 트래픽의 QoS를 보장하기 위해서는 네트워크 자원을 효율적으로 관리해야 한다 본 논문에서는 무선 네트워크 환경에서 다양한 종류의 QoS를 보장하기 위한 레이트 일로케이션 알고리즘을 제안하였다 기존에 제안된 Fair 알고리즘은 모든 플로우의 레이트를 거의 동일하게 조절하고, Average-Fair 알고리즘은 소수의 플로우에 대해서만 QoS 최소화, 최대값으로 조정하기 때문에 다양한 QoS를 보장하기 어렵다 반면 새롭게 제안된 알고리즘은 각 플로우의 QoS 값에 비하여 레이트를 조정함으로써, 효율적인 QoS 관리 및 QoS에 따른 서비스의 공정성을 보장한다

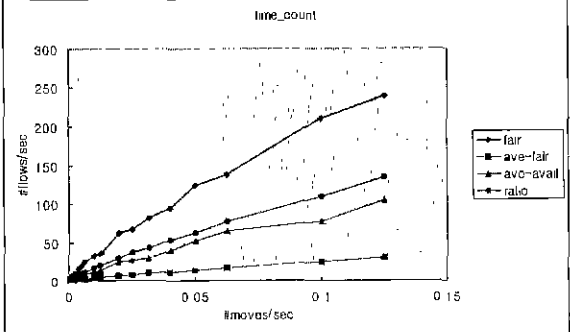
최적의 레이트 일로케이션을 위해서는 레이트가 조절되는 플로우의 수

를 최소화하고 공정성을 최대화 하아야 한다 그러나 이 두 가지 속성은 서로 상반되는 특성을 갖기 때문에 동시에 이룰 수 없고 적당한 타협점을 필요로 한다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 적절한 수의 플로우에 대해 레이트를 조절하여 높은 공정성을 제공하며 이를 시뮬레이션에 의해 확인하였다

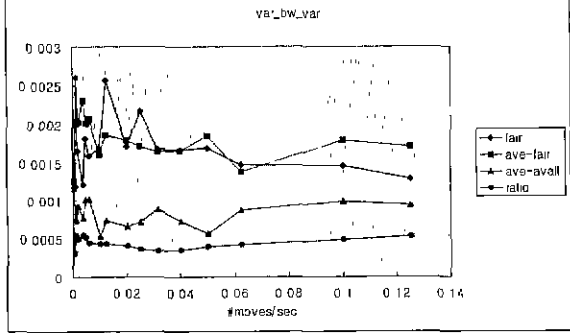
앞으로의 연구는 높은 공정성을 유지하면서 레이트가 조절되는 플로우의 수를 감소시키는 방안에 초점을 맞출 것이다

참고 문헌

- [1] Clark D., Shenker S and Zhang L, "Supporting Real-Time Applications In An ISPN . Architecture and Mechanism ", Proceedings of SIGGOM '92
- [2] Chanry, A., "An Algorithm for Rate Allocation in a Packet-Switching Network with Feedback", Laboratory for Computer Science Technical Report TR-601, MIT, Cambridge, MA, USA, April, 1994
- [3] S Lu and V Bharghavan, "Adaptive resource management algorithms for indoor mobile computing environments". Proceedings of ACM SIGCOMM'96
- [4] S Lu, Kang-Won Lee and Vaduvur Bharghavan "Adaptive Service in Mobile Computing Environments", IFIP International Workshop on QoS '97
- [5] Talukdar A K, Bandrnath B R and Acharya A, "On Accommodating Mobile Hosts in an ISPN", In the Proceedings of the IEEE INFOCOM'97
- [6] Talukdar A K., Bandrnath B R and Acharya A, "Integrated Services Packet Networks with Mobile Hosts Architecture and Performance, In the Proceedings of the IEEE INFOCOM'97, Japan
- [7] Talukdar. A. K., Bandrnath B R and Acharya A, "Rate adaptation schemes in networks with mobile hosts", MOBICOM '98 The fourth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking



[그림 2] 이동율 증가에 따른 평균 속도 변경 플로우의 수



[그림 3] 이동율 증가에 따른 각 플로우의 분산 값에 대한 전체 분산