

이동 망에서의 전송률 적응 방안

조 현 준[†]

요 약

이동 통신망에서는 각 셀에 이동 호스트들이 집중함에 따라 링크대역폭이 과부하가 될 수 있다. 그 결과, 셀 내에 포함된 모든 데이터 흐름의 요구된 QOS(Quality of Service)가 만족될 수 없다. 이에 따라서 다양한 대역폭 레벨에서 동작할 수 있는 적응성을 갖는 응용들이 나타나게 되었다. 무선링크가 과부하상태가 되면, 적응성을 갖는 응용들은 데이터흐름의 대역폭을 줄임으로써 적응하게 된다. 이를 전송률 적응이라 한다.

본 논문에서 우리는 모의실험을 통하여 기존 전송률적용 방안에 대한 성능을 분석한다. 모의실험 결과는 평균-공정 적용 방안이 매우 낮은 망 오버헤드를 나타내지만 데이터흐름의 높은 대역폭 분산을 갖음을 보여주며, 이는 서비스의 질을 떨어뜨리는 원인이 된다. 우리는 공정 적용방안과 평균-공정 적용 방안을 혼합함으로써 개선된 전송률 적응방안을 제안하고, 모의실험을 통하여 이 방안이 낮은 데이터 흐름의 대역폭 분산을 제공함을 보인다.

A Rate Adaptation Method in Mobile Networks

Hyun-Joon Cho[†]

ABSTRACT

In mobile network, wireless links may be overloaded due to a high concentration of mobile hosts in a given cell. As a result, the required QOS(Quality of Service) cannot be provided to all flows in that cell. So, there exists adaptive applications which can operate with various bandwidth levels. When a wireless link is overloaded, it can adapt by reducing the bandwidths of flows, is referred to as rate adaptation.

In this paper, we analyze the performance of existing rate adaptation methods by simulations. The result of simulation experiments shows that average-fair adaptation scheme has very low network overhead but high bandwidth variance of flows, which causes the worse quality of service. We propose a rate adaptation method refined by combining fair adaptation and average-fair adaptation, and shows the refined method can provide lower bandwidth variance of flows by simulations.

1. 서 론

무선 디지털 통신의 발달에 따라 가까운 미래에는 통신망 환경이 이동 통신망으로 변화될 것으로 예견되고 있으며, 이와함께 컴퓨팅 환경도 이동 컴퓨팅(mobile computing)으로 발전한다는 점은 이미 주지의 사실이다. 이에 따라 이동 호스트들의 이동성에 관계없이 이동 통신망에서의 망 접속기능이나 전송 계층 기

능을 제공하기 위한 많은 연구들이 활발히 이루어지고 있는 실정이다[1-3].

이동 통신망에서는 각 셀에 이동 호스트들이 집중하므로써 링크대역폭이 과부하가 될 가능성이 높다. 셀의 무선링크가 과부하 상태가 되면, 셀 내에 포함된 모든 데이터 흐름에 대한 QOS(Quality of Service) 요구가 만족될 수 없다. 따라서 적응성을 갖는 응용 서비스들이 나타나게 되었고, 이들은 가용한 대역폭 범위 내에서 동작하도록 설계된다. 예를 들어, 최근에 개발된 비디오 코딩 하드웨어는 디지털 비디오를 60Kbps

[†] 종신회원 : 전주대학교 전자매체공학부 교수
논문접수 : 2000년 10월 18일, 심사완료 : 2000년 12월 21일

에서 600Kbps의 범위에서 전송할 수 있다[4]. 그리하여 링크의 과부하 상태가 발생하게 되면 각각의 데이터 흐름이 갖는 대역폭을 줄여서 이 문제를 해결할 수 있도록 한다. 이러한 기능을 전송률 적응(rate adaptation)이라고 한다.

전송률 적응이 발생하면 링크를 제어하는 라우터에서 각 데이터 흐름에 대한 새로운 전송율을 계산하여, 이 전송율을 메시지 전송을 통해서 송신자와 수신자에게 알리고 새로운 대역폭을 할당받게 된다. 이와같은 메시지 전송에 따른 오버헤드와 새로운 대역폭 할당에 따른 오버헤드는 전송률 적응을 위한 망 오버헤드로 볼 수 있으며, 이는 결과적으로 데이터 흐름의 전송률 적응 회수에 비례한다. 이동망에서는 사용자들의 높은 이동성 때문에 빈번한 핸드오프가 발생하고, 이에 따라 각 셀의 링크 가용대역폭의 변화가 심하게 발생해서 결국 망에서의 메시지 오버헤드가 매우 커질 수 있다.

전송률 적응에서 중요한 두가지 성질은 망 오버헤드와 공정성(fairness)이다. 일반적으로 maxmin 최적성 표준을 만족하는 방법들은 과도한 망 오버헤드를 유발한다. 특히 이동망에서는 사용자들의 높은 이동성 때문에 빈번한 핸드오프에 따른 극심한 전송률 적응을 유발할 수 있다. 기존에 제안된 전송률 적응을 줄이기 위한 방안들은 일반적으로 공정성을 떨어뜨릴뿐만 아니라 전송률의 변화를 심화시켜 통신서비스의 질을 떨어뜨린다. 본 논문에서는 이러한 두가지 방안의 장점을 모두 살릴 수 있도록 두 방안을 혼합한 전송률 적응 방안을 제시한다. 이 방안은 통신서비스의 특성을 고려하여 전송률 변화에 민감한 서비스를 위해서는 maxmin 최적성을 만족시키는 방안을 이용하도록 하며, 한계치를 이용하여 망 오버헤드를 줄이도록 한다. 또한 전송률 변화에 크게 구애받지 않는 서비스는 전송률 적응 회수 최소화에 기초한 방안을 적용하도록 한다. 이에 관한 성능평가를 위해 모의실험을 이용하였다. 실험결과 제시한 방안은 기존의 방법에 비해 망 오버헤드 측면과 전송률 적응 회수의 정도에서 개선이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

2. 관련 연구

2.1 전송률 적응

이동망은 일반적으로 다수의 셀로 구성되며, 각 셀은 기지국(base station)에 의하여 제어된다. 기지국은

셀 내에 존재하는 이동호스트들이 무선망에 접속할 수 있도록 하며, 이들은 다시 유선망에 의하여 연결된다. 유선망의 대역폭은 무선링크의 대역폭에 비하여 대단히 높기 때문에 망이 과부하가 발생할 때는 주로 무선링크 쪽이 그 원인이 된다. 무선링크에서 과부하가 발생하면 셀 내에 포함된 이동 호스트들의 모든 데이터 흐름에 대한 QOS(Quality of Service) 요구가 만족될 수 없다. 이에 따라서 가용한 대역폭 범위 내에서 동작할 수 있는 적응성을 갖는 응용 서비스들이 설계되고 있다. 그리하여 링크의 과부하 상태가 발생하게 되면 각각의 데이터 흐름이 갖는 대역폭을 줄여서 이 문제를 해결할 수 있도록 한다. 이러한 기능을 전송률 적응(rate adaptation)이라고 한다. 전송률 적응은 다음과 같은 상황에서 발생 할 수 있다.

- 핸드인(hand-in) : 데이터 흐름을 갖는 이동호스트가 셀 내로 들어왔을 때, 셀의 가용 대역폭이 요구되는 데이터 흐름의 현재 대역폭 레벨을 수용할 수 없다면 전송률 적응이 발생한다.
- 핸드아웃(hand-out) : 셀의 무선 링크가 과부하 상태가 되면 몇몇 데이터 흐름들은 최대 대역폭 요구보다 낮은 레벨에서 동작하게 된다. 이 상태에서 한 이동 호스트가 셀을 빠져나가게 되면 가용대역폭이 증가하게 되고 몇몇 데이터 흐름들은 사용중인 대역폭 레벨을 높일 수 있게 된다. 이렇게 함으로써 링크 이용률을 높일 수 있다.
- 데이터흐름 생성 : 셀 외부로부터 새로운 통신서비스 요구에 따라 셀 내에 존재하는 이동 호스트에 대한 새로운 데이터 흐름이 생성되었을 때, 셀의 가용 대역폭이 요구되는 데이터 흐름의 현재 대역폭 레벨을 수용할 수 없다면 전송률 적응이 발생한다.
- 데이터흐름 종료 : 데이터 흐름이 종료되면 셀의 가용 대역폭은 증가하게 되고 이에 따라 몇몇 데이터 흐름들은 사용중인 대역폭 레벨을 높일 수 있게 된다.

전송률 적응은 두가지 기능으로 이루어지는데, 첫째는 링크의 라우터에서 발생하는 각 데이터 흐름에 대한 새로운 전송률 계산 기능(rate computation)이며, 두 번째는 새로 계산된 전송률을 메시지 전송을 통해서 송신자와 수신자에게 알리는 전송률 식별(rate notification)이다. 그러므로 망에서의 메시지 오버헤드는 데이터 흐름의 전송률 변화 회수에 비례한다. 이동망에서는 사용자들의 높은 이동성 때문에 빈번한 핸드오프

가 발생하고 이에 따라 각 셀의 링크 가용대역폭의 변화가 심하게 발생해서 결과적으로 망에서의 메시지 오버헤드가 매우 커질 수 있다. 이와 함께 유선망에서의 각 링크는 변화된 데이터 흐름의 전송율에 따라 새로운 대역폭 할당이 일어나게 된다. 이는 심각한 망 오버헤드로 인식되고 있다.

2.2 Maxmin 최적성 표준

유선망에서 maxmin 최적성 표준은 전송율 할당을 위해서 이용되었다. 이에 대한 자세한 기술은 참고문헌 [5]에 소개되어 있으며, 여기서는 기본적인 원리만 소개한다. 먼저 망 내에서 모든 병목링크(bottleneck link)를 찾는다. 여기에서 병목링크라 함은 각 데이터 흐름을 위해서 사용되는 링크들 중에서 가장 작은 대역폭만이 가용한 링크를 의미한다. 이 병목링크들의 대역폭은 그 링크를 경유하는 모든 데이터 흐름들에 의하여 동등하게 공유되어야 한다. 따라서 해당 데이터 흐름들의 전송율은 링크의 대역폭을 데이터 흐름의 수로 나누어 결정되고, 이 데이터 흐름들은 망에서 제거되며, 그들이 경유하는 모든 링크의 가용 대역폭은 해당 데이터 흐름의 대역폭만큼 줄어들게 된다. 그리고 난 후 망에서 다음 병목링크들을 찾아서 동일한 처리를 반복한다. 이와 같은 반복처리는 망 내의 모든 데이터 흐름에 대하여 전송율이 할당될 때까지 계속된다.

한 링크의 가용 대역폭을 다수의 데이터 흐름들에게 할당하는 문제에 대한 많은 연구들이 문헌에 소개되어 있다. Charny[5], Abraham[6], Tsang[7] 등은 maxmin 공정성을 보장하는 분산 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘들은 전체 망을 범위로 한 모든 데이터 흐름들에게 공정한 전송율을 할당하기 위하여 이용된다.

2.3 한계값을 이용한 전송율 적응

Luf[8]는 이동망 환경에서 이동 호스트의 핸드오프 이후나 데이터흐름 종료 상황에서 발생하는 링크 대역폭의 재할당을 위하여 Charny가 제안한 분산 전송율 할당 알고리즘을 이용하였다. 이 연구에서 전송율 재할당의 오버헤드를 줄이기 위해 한계치를 이용한 전송율 재할당을 제안하였다. 즉, 가용 대역폭이 증가하여 전송율 적응이 발생할 때 증가된 대역폭의 크기가 한계값을 초과할 경우에만 전송율 적응을 수행하는 방안이다. 링크 l 에서 다음 수식과 같은 전송율(대역폭) 변경이 감지되면 전송율 적응이 시작된다.

$$b'_{av,l}(t) < b'_{av,l}(t^-) \text{ 또는,} \\ (b'_{av,l}(t) \geq \sum_{i \in L(l)} b'_{(av,l),i}(t^-) + \delta \text{ and } M(l) \neq \emptyset) \quad (1)$$

$b'_{av,l}(t)$: 시간 t 에서의 링크 l 의 초과 가용대역폭(excess available bandwidth)

단, 초과 가용 대역폭이란 최소요구대역폭을 넘는 가용대역폭의 크기

$b'_{(av,l),i}(t)$: 시간 t 에서의 링크 l 의 연결 j 를 위한 초과 가용 대역폭

$L(l)$: 링크 l 에서 동작중인 데이터흐름을 위한 연결들의 집합

$M(l)$: 링크 l 을 병목링크라고 생각하는 모든 연결(링크 l 이 유지하고 있는)들의 집합.

한계값(δ)을 크게 할수록 전송율 적응의 회수를 더욱 줄일 수 있는 대신 가용한 대역폭을 낭비하게 되는 단점이 있다.

2.4 평균-공정(average-fair) 전송율 적응

Talukdar [9]는 Lu의 방법이 maxmin 공정성 표준을 만족하는 대단히 공정한 방법이지만 전송율 재할당에 따른 오버헤드가 매우 크다는 단점을 보완하기 위하여 새로운 연구를 수행하였다. 이 연구에서 고려한 환경은 다음과 같다. 한 셀은 데이터 흐름들의 집합 $S = \{i_0, i_1, \dots, i_{n-1}\}$ 를 갖는다. 데이터 흐름 i 는 대역폭 레벨 l_0, l_1, \dots, l_{n-1} 중에 한 레벨에서 동작한다. 대역폭 레벨은 응용서비스에 의하여 요구되며, 최소대역폭요구와 평균대역폭요구 등이 정해진다. 전송율 적응은 레벨낮춤과 레벨높임 등 두동작으로 이루어진다. 셀 내에 새로운 데이터흐름이 들어올 경우, 현재 동작중인 데이터흐름들의 대역폭과 새로 들어온 데이터흐름의 요구대역폭의 합이 셀의 무선링크 대역폭을 초과하면 링크가 과부화되었다고 말한다. 이 상태에서 모든 데이터흐름의 최소대역폭 요구의 합이 링크의 대역폭 용량을 초과할 때에는 새로 들어온 데이터흐름은 포기된다. 만약 모든 데이터흐름의 최소대역폭 요구의 합이 링크의 대역폭용량을 초과하지 않는다면, 데이터흐름의 대역폭 레벨을 낮춤으로써 문제가 해결된다. 이때, 데이터흐름 i 의 대역폭이 r_i 만큼 감소했다면 레벨낮춤의 문제는 다음과 같이 형식적으로 기술된다.

b 를 대역폭용량이 C 인 링크에서의 대역폭 부족량이라 하면, $b = \sum_{k=1}^n r_k - C$ 이며, $C > \sum_{k=1}^n r_k$ 이다. 최소부분집합 $S' \subseteq S$ 와 $\sum_{i \in S'} r_i \geq b$ 인 연관된 축소집합 $R = \{r_i \mid i \in S' \wedge \text{데이터흐름 } i \text{ 는 } r_i \text{ 에 의하여 축소}\}$ 을 찾는다.

링크가 과부하상태일 때 한 데이터흐름이 셀을 나가거나 종료되면 최대 대역폭 레벨 이하에서 동작중인 데이터흐름 중 몇 개는 단계높임에 의하여 대역폭이 증가될 수 있다. 그러므로 단계높임 문제는 다음과 같이 기술될 수 있다.

b 를 대역폭용량이 C 인 링크에서의 여분의 대역폭이라 하면, $b = C - \sum_{i \in S} I'_k$ 이다. 이때 최대 부분집합 $S \subseteq S$ 와 $\sum_{i \in S} r_i \leq b$ 인 연관된 증가집합 $R = \{ r_i \mid i \in S \wedge r_i \text{는 데이터흐름 } i \text{의 증가량} \}$ 을 찾는다.

이상에서 기술한 형식화(formalization)는 링크의 이용율을 최대화하지만 부분집합 S 에 의한 공정성이나 망오버헤드에 대한 최적화를 고려하지 않고 있다. 데이터흐름 집합 S 와 b 의 값이 주어졌을 때 대역폭의 변화가 발생하는 데이터흐름인 S 의 부분집합 S' 과 대응되는 대역폭 변화량의 집합 R 을 계산하는 방법에 따라 다양한 전송률적용 방안이 가능하다.

이와같은 환경에서 Talukdar[9]는 최소적용방법(minimum adaptation)과 공정적용방법(fair adaptation), 그리고 평균-공정 적응방법(average-fair adaptation) 등 세가지 대역폭적용 방안을 기술하고, 이들에 대한 성능분석을 보여주었다.

최소적용방법은 전송률적용 때에 발생하는 망오버헤드를 최소화하기 위하여 전송률이 변화해야 하는 데이터흐름의 수를 최소화하는 방법이다. 그러나 이 방법은 공정하지 않다는 단점이 있다. 전송률적용 시에 최소의 데이터흐름만이 대역폭레벨을 변경하기 때문에 몇몇 데이터흐름들은 서비스 기간동안 다른 데이터흐름들에 비하여 훨씬 자주 대역폭레벨의 변경이 발생하기 때문이다.

공정 적응방법은 우선 모든 데이터흐름들에게 최소 요구 대역폭 만큼 할당하고 난 후 남는 링크의 대역폭을 모든 데이터흐름들에게 공정하게 할당하는 방안이다. 이 방법은 maxmin 최적성을 만족하는 공정한 방법이지만 최소적용방법과는 반대로 망오버헤드가 매우 높다는 단점이 있다.

이에 따라 최소적용방법보다는 공정하면서도 공정적용방법보다는 망오버헤드가 적은 평균-공정 적응방법을 제안하였다. 이 방법은 최소적용방법과 유사하지만 전송률적용 시에 각 데이터흐름의 평균사용 대역폭을 이용하여 대역폭변경을 해야할 데이터흐름을 선택한다

는 점이 다르다. 이렇게 함으로써 특정한 데이터흐름들이 다른 데이터흐름들에 비해 자주 대역폭변경이 발생하는 것을 예방할 수 있다. 이 방법은 maxmin 최적화를 만족하지는 않지만 평균사용 대역폭이라는 새로운 기준을 이용함으로써 서비스 기간동안에 사용되는 데이터흐름의 평균대역폭을 공정하게 할당함으로써 공정성을 제공하는 방법이다. 현재까지 데이터흐름 i 의 상대 평균사용 대역폭(relative average bandwidth) c_i 는 다음 식 (2)과 같이 정의된다.

$$c_i = b_i^{avg}(t) / I'_0 \tag{2}$$

$b_i^{avg}(t)$ = 시간 t 까지 데이터흐름 i 에 의하여 사용된

$$\text{평균 대역폭} = \frac{1}{t - T_i^0} \int_{T_i^0}^t b_i(t) dt$$

(T_i^0 : 데이터흐름 i 의 시작시간)

호스트가 이동함에 따라 통신서비스를 위한 데이터흐름이 다 수의 셀을 거쳐갈 경우에 공정 적응방법은 각 셀에서 대역폭을 균등하게 사용함으로써 maxmin 최적화 기준을 만족하지만, 데이터흐름의 생성으로부터 소멸될 때까지 사용한 대역폭의 크기는 데이터흐름이 방문하는 셀들의 대역폭 상태에 따라 상당한 차이가 있게 된다. 그러므로 평균-공정 적응방법은 나름대로 의미있는 새로운 공정성 기준을 제공한다.

3. 개선된 전송률적용 방안

평균-공정 적응방법은 대역폭 변화에 따른 망오버헤드를 줄이면서 데이터흐름의 수명기간 동안 사용한 대역폭을 공정하게 할당하는 방법이지만, 각 데이터 흐름의 대역폭의 변화를 크게함으로써 통신서비스의 질을 떨어뜨릴 가능성이 높다. 이에 반하여 maxmin 최적화 기준을 만족하는 공정 적응방법은 망오버헤드가 큰 반면 데이터흐름의 수명기간중의 대역폭의 변화를 최소화하는 장점이 있다. 결과적으로 망오버헤드와 데이터흐름 수명기간중의 대역폭 변화는 양립할 수 없는 특성이므로 본 논문에서는 이 두가지 특성에 대한 장점을 갖는 각 적응방법을 혼합하는 개선방법을 제안한다.

데이터흐름이 제공하는 서비스의 특성을 대역폭의 변화에 민감한 서비스와 그렇지 않은 서비스로 나누어서 대역폭에 민감한 데이터흐름($f1$)은 공정 적응방법으로, 그렇지 않은 데이터 흐름($f2$)은 평균-공정 적응방법을 이용하여 전송률 적용을 행한다. 이렇게 함으

로써 평균-공정 적응방안으로 전체 망오버헤드를 줄일 수 있으며, 동시에 대역폭 변화에 민감한 데이터흐름을 위해서는 공정 적응 방안으로 데이터흐름의 대역폭의 변화량을 줄여서 서비스의 질을 높일 수 있다. 이를 위해서 무선링크의 대역폭을 두 부분으로 나누어 공정 적응방안을 위한 대역폭부분과 평균-공정 적응방안이 적용되는 대역폭부분으로 이용한다. 나누어지는 대역폭 크기의 비는 현재 서비스중인 f_1 과 f_2 의 요구 대역폭의 비에 따라 정해진다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C1 = C * R1 / (R1 + R2) \quad (3)$$

$$C2 = C - C1 \quad (4)$$

- C : 셀의 무선링크 용량
- $R1$: 대역폭 변화에 민감한 데이터흐름의 요구대역폭의 합
- $R2$: 대역폭 변화에 민감하지 않은 데이터흐름의 요구 대역폭의 합
- $C1$: 공정 적응 방안을 위한 링크 용량
- $C2$: 평균-공정 적응 방안을 위한 링크 용량

따라서 요구되는 서비스가 모두 대역폭 변화에 민감한 경우와 같은 극단적인 경우에는 전체가 공정 적응방안이 되며, 그 반대의 경우에는 평균-공정 적응방안과 동일하게 된다. 제안한 전송률적용방안을 단계별로 기술하면 다음과 같다.

- 단계 1. 전송률적용이 발생할 수 있는 사건(핸드오프, 데이터흐름 생성 또는 종료)이 발생하면 해당 셀 내의 모든 데이터흐름에 대하여 ②식에 따라 수명기간동안 평균사용대역폭을 계산한다.
- 단계 2. i) 핸드인이나 새로운 데이터흐름이 생성 등에 의하여 새로운 대역폭요구가 있을 경우 가용대역폭이 새로운 대역폭요구보다 큰 경우에는 새로운 대역폭요구를 그대로 수용하고 전송률적용없이 종료한다. 만약 모든 데이터 흐름의 최소 대역폭 레벨의 합이 무선링크의 전체용량보다 크면 새로운 대역폭 요구는 거절되며, 해당 데이터흐름은 종료된다.
ii) 핸드아웃이나 데이터흐름 종료에 따라 셀의 가용대역폭 증가되었을 경우 한계치를 이용할 때에는 가용대역폭이 한계치보다 적으면 전송률 적응을 하지않고 종료한다.
- 단계 3. ③, ④식에 의하여 $C1, C2$ 링크용량을 계산한다.
- 단계 4. f_1 데이터흐름들의 대역폭이 동일하게 $C1$ 링크

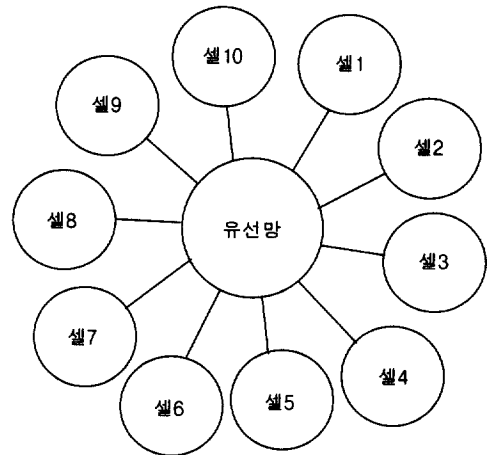
용량 내에서 대역폭레벨을 할당한다. 같은 레벨로 할당하고 남은 대역폭은 임의의 데이터흐름들에게 한 대역폭 레벨씩 높인다.

f_2 데이터흐름들에게 이미 할당된 대역폭의 합이 $C2$ 보다 작을 경우는 가용대역폭을 수명기간동안 평균사용대역폭이 가장 적은 데이터흐름부터 순서대로 가장 높은 레벨까지 대역폭을 높임으로써 할당한다. 이렇게 함으로써 대역폭 변경 회수를 최소화한다.

4. 모의실험에 의한 성능비교

4.1 모의실험 모델

본 논문에서는 기존에 제안된 방안들에 대한 성능특성을 모의실험을 통해서 알아보고, 모의실험 결과 분석을 바탕으로 한 개선된 방안을 제안한다. 먼저 모의실험을 위한 시스템모델은 다음 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 모의실험을 위한 시스템 모델

모의실험에서는 하나의 유선망과 유선망에 연결되어 있는 10개의 셀로 이루어진 망구조를 고려하였다. 통신서비스를 위한 데이터흐름은 유선망으로부터 들어오는 요청에 의하여 임의의 셀에 존재하는 수신자와 연결된다. 이와같이 새로운 데이터 흐름이 셀 내에 생성될 때 전송률 적응이 이루어질 수 있다.

4.2 모의실험을 위한 가정

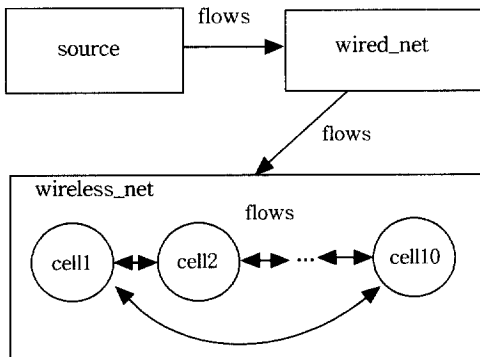
데이터 흐름의 생성은 포아송분포에 따른다고 가정

하며, 따라서 데이터흐름 생성 사이의 간격은 지수분포를 갖는다. 수신자가 움직임에 따라 임의의 셀에서 이웃한 셀로 데이터 흐름은 이동을 하게 된다. 이 때 핸드오프가 발생하게 되며 연관된 두 셀 내에서 전송을 적용이 이루어질 수 있다. 수신자의 이동 방향은 시계방향과 그 반시계방향일 수 있으며, 이는 평균 1/2확률로 발생한다. 모의실험에서 사용된 파라미터의 가정치는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 모의실험을 위한 가정치

모의실험 파라미터	가정치
셀의 무선링크의 대역폭	2 Mbits/sec
데이터흐름의 평균 수명기간	300 sec
데이터흐름의 평균 생성률	1.5 flows/sec
데이터흐름의 대역폭레벨	(320Kbps, 256kbps, 192kbps, 128kbps, 64kbps)

앞에서 기술한 가정에 따라 모의실험을 위한 프로그램은 시뮬레이션언어인 PARSEC[10]을 이용하여 작성 및 실험하였다. PARSEC 시뮬레이션언어는 메시지를 송수신 하는 독립된 엔티티(entity)들을 정의하고 이를 이용하여 실제 시스템을 모사한다. 본 논문에서는 데이터흐름 요구를 생성하여 유선망에 전송하는 source 엔티티와 source 엔티티로부터 수신된 데이터흐름 요구를 임의의 셀로 전송하는 wired_net 엔티티, 그리고 데이터흐름의 대역폭 요구에 따라 전송을 적용이 발생하는 부분인 각 다수의 셀의 역할을 담당하는 wireless_net 엔티티 등 3개의 엔티티로 구성하였다. 각 엔티티 간에는 각 데이터흐름에 대한 정보를 나타내는 flow 메시지를 송수신한다. (그림 2)가 엔티티 간의 관계를 나타내고 있다.

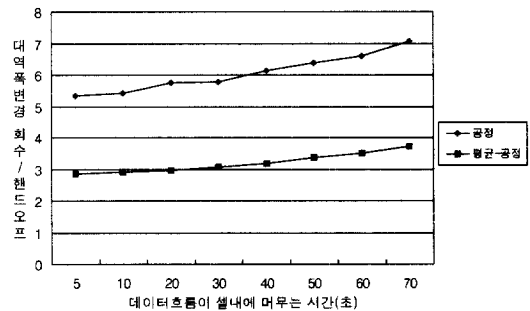


(그림 2) 모의실험을 위한 엔티티간의 관계

모의실험은 900초 동안 실행되며, 통계치들은 600초 이후부터 얻는다. 그 이유는 주어진 모의실험 환경에서 서비스 중인 데이터흐름의 수가 평형상태(steady state)가 되기 위해서는 평균 300초가 소요되며, 이 후에 발생한 데이터흐름들에 대한 통계치들이 얻어지는 종료되기 시작하는 시간이 시작후 평균 600초 때부터이기 때문이다.

4.3 모의실험 결과

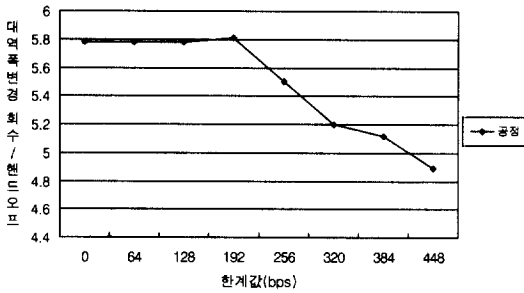
4.3.1 기존 전송을 적용 방안에 대한 모의실험 결과
 본 논문은 기존 전송을 적용 방안 중에서 공정성 측면에서 우수한 공정 적용방안과 망 오버헤드 측면에서 장점이 있는 평균-공정 적용방안에 대하여 성능 비교를 통한 분석을 수행하였다. 먼저 망 오버헤드 측면에서의 성능비교를 위하여 모의실험 기간 동안 발생한 모든 데이터흐름의 대역폭 변경 회수를 측정하였다. 다음 (그림 3)은 공정 전송을 적용 방안과 평균-공정 전송을 적용 방안에 대한 측정된 대역폭 변경 회수의 성능 비교 그래프이다.



(그림 3) 대역폭변경회수 비교

성능 파라미터는 데이터흐름의 이동성을 나타내는 각 셀에서는 머무는 시간(cell stay time)이며, 이동성에 따른 대역폭변경이 발생하는 데이터흐름의 수를 나타내었다. 이동성이 높아지면 핸드오프의 회수가 많아 지므로 대역폭변경 발생이 증가할 수 밖에 없다. 따라서 이 그래프에서는 대역폭변경 발생회수를 핸드오프의 회수로 나눈 값으로 나타내었다. 이 그래프에서 알 수 있는 것처럼 공정 전송을 적용방안에 비해 평균-공정 전송을 적용 방안이 대역폭변경 발생회수가 절반정도로 적용을 알 수 있다. 그만큼 평균-공정 전송을 적용방안이 망오버헤드 측면에서 장점이 있다.

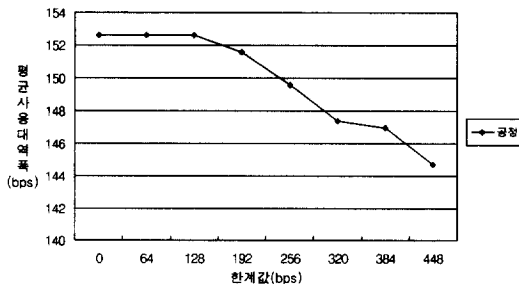
그러나 이 그래프에 나타난 공정 전송률적용방안은 한계값을 이용하지 않은 것으로 Lu의 한계치를 이용한 공정 전송률적용방안을 이용할 경우 다음 (그림 4)와 같이 성능이 변화함을 알 수 있다.



(그림 4) 한계값을 이용한 공정 적응방안의 대역폭변경 회수

이때 한계값은 데이터흐름이 종료했을 때와 같은 셀 링크의 가용대역폭이 증가했을 때, 이전 전송률적용의 결과에 따른 가용대역폭에 비해 증가된 대역폭의 크기를 의미한다. 따라서 데이터흐름의 종료나 다른 셀로의 핸드오프 등에 의하여 링크 대역폭이 증가하더라도 한계값 이상의 변화가 있을 경우에만 전송률적용을 함으로 대역폭변경 회수를 줄일 수 있다. 한계값이 클수록 전송률적용 회수는 (그림 4)의 결과처럼 줄어든다. 그러나 384bps 정도의 한계값을 이용한다 하더라도 데이터흐름의 전송률적용 회수가 12% 정도밖에 줄어들지 않으며 이는 평균-공정 적응방안에 비해 상대적으로 매우 크다는 점을 알 수 있다.

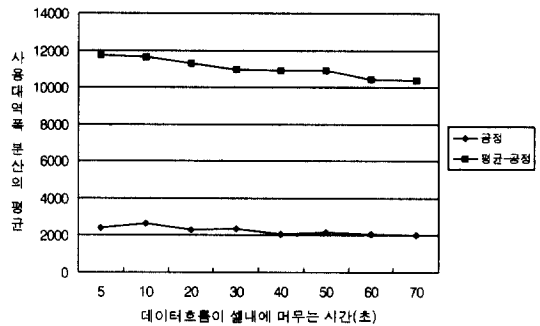
또한 한계값이 클 경우에는 가용대역폭이 충분함에도 전송률적용을 억제함으로써 링크 이용율이 떨어지게 된다. 다음 (그림 5)가 한계값들의 증가에 따른 각



(그림 5) 한계값을 이용한 공정 적응방안에서 데이터흐름의 평균 사용대역폭

데이터흐름의 사용 대역폭의 평균값을 나타낸 것이다. 예상했던 것처럼 사용 대역폭의 평균값이 한계값에 비해하여 줄어들고 있음을 알 수 있다.

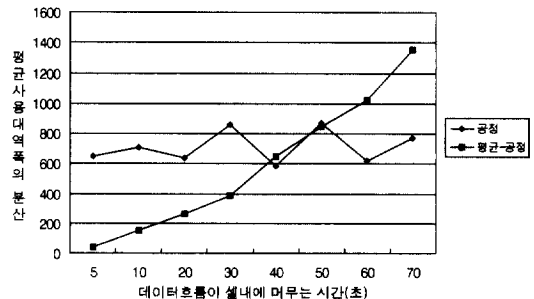
다음 (그림 6)은 각각 데이터흐름이 생성되서 소멸될 때까지 사용한 평균대역폭들에 대한 분산값을 나타내었다.



(그림 6) 평균사용대역폭의 분산 비교

전체 데이터흐름의 평균 사용대역폭들에 대한 분산값이 크다는 것은 결국 데이터흐름들이 서비스 기간중에 사용한 대역폭이 차이가 심함을 의미하기 때문에, 이는 공정성이 좋지않음을 나타낸다. 실험결과 이동성이 높은 특정부분에서는 평균-공정 적응방안이 공정 적응방안에 비하여 오히려 더 좋은 공정성을 나타냄을 알 수 있다. 그 이유는 비록 maxmin 최적화 기준을 만족하지는 못하지만, 평균-공정 적응방안은 대역폭변경 시에 대상 데이터흐름의 선택 기준으로 평균사용대역폭이 적은 것을 우선적으로 선택하기 때문에 수명기간동안의 공정성은 더 좋을 수 있다.

다음 (그림 7)은 각 데이터흐름이 수명기간동안 사용한 대역폭의 분산값에 대한 평균값을 보여주고 있다.



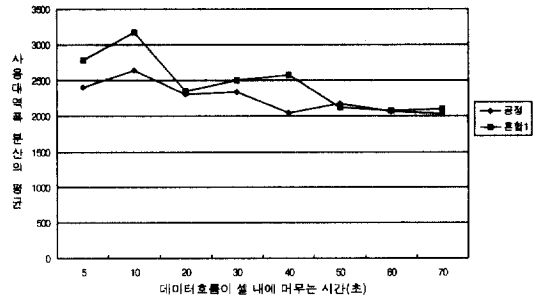
(그림 7) 각 데이터흐름의 사용대역폭 분산의 평균

대역폭 분산의 의미는 서비스가 이루어지는 동안 데이터흐름이 사용한 대역폭의 변화정도를 나타내는 것으로 이 값이 작을수록 통신서비스의 질은 높다고 할 수 있다. 심한 대역폭변화는 끊김없는 서비스(seamless service)를 제공할 수 없기 때문이다. 모의실험결과는 평균-공정 적용방안이 공정 적용방안에 비해 데이터흐름의 사용대역폭 분산값이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이 결과는 평균-공정 적용방안이 대역폭적용 시에 대역폭 변화가 발생하는 데이터흐름의 수를 줄이는 방법을 사용하지만, 공정 적용방안은 균등한 대역폭사용을 위하여 보다 많은 데이터흐름의 대역폭변화를 발생시키기 때문이다. 즉 소수의 데이터흐름만으로 전송을 적용을 하게되면, 그만큼 각 데이터흐름의 전송을 변화량은 클 수밖에 없기 때문이다.

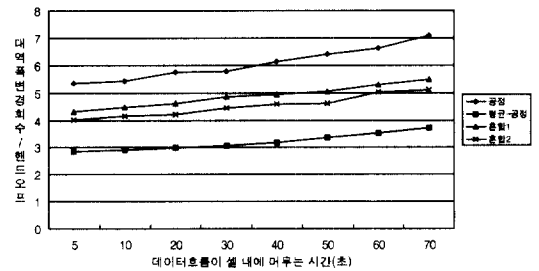
4.3.2 개선된 전송율적용 방안에 대한 모의실험 결과 모의실험 결과에 따라 평균-공정 적용방안은 대역폭 변화에 따른 망오버헤드를 줄이면서 데이터흐름의 수명기간 동안 사용한 대역폭을 공정하게 할당하는 방법이지만, 전송율적용이 발생할 때에 대역폭 변화의 대상이 되는 데이터흐름의 수를 줄임으로써, 데이터 흐름의 대역폭의 변화량이 커지고 따라서 통신서비스의 질을 떨어뜨리는 결과를 초래함이 확인되었다. 또한 maxmin 최적화 기준을 만족하는 공정 적용방안은 데이터흐름의 수명기간 중의 대역폭의 변화를 최소화하는 장점이 있지만, 예상대로 망오버헤드가 큰 단점이 확인되었다. 이와같은 단점을 보완하기 위해서 3장에서 제안한 개선된 전송율적용 방안의 타당성을 알아보기 위하여 모의실험을 수행하였다.

다음 (그림 8)은 대역폭 변화에 민감한 서비스의 데이터 흐름(f_1)과 그렇지 않은 데이터 흐름(f_2)의 요구 대역폭의 비가 1:1 일 경우의 모의실험 결과이다. (a) 그래프는 대역폭변화에 민감한 서비스를 위한 데이터흐름의 대역폭변화를 나타내며, (b) 그래프는 전체 데이터흐름에 대한 핸드오프 당 대역폭변경 회수를 나타낸다. 의도했던대로 (a)는 특성은 공정 적용방안과 유사한 대역폭의 분산값을 보여주며, (b)는 혼합된 전송을 적용 방안의 전체 대역폭변경 회수가 평균-공정 적용방안과 공정적용방안의 중간에 위치함을 나타내고 있다. 혼합1은 한계값을 이용하지 않았을 경우이며, 혼합2는 한계값을 384bps로 주었을 때의 결과이다.

(그림 9)는 f_1 과 f_2 의 요구 대역폭 비가 1:3, 1:

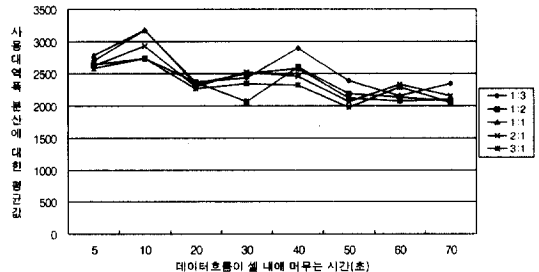


(a) 데이터흐름의 대역폭 분산 비교

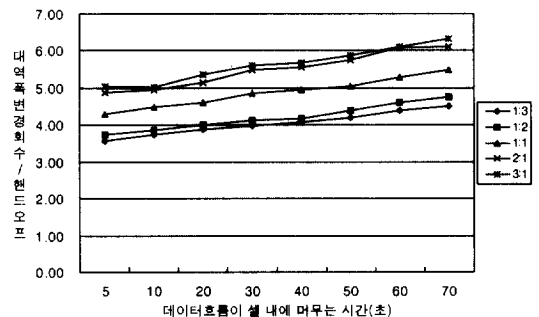


(b) 대역폭변경 회수 비교

(그림 8) 혼합 적용방안과 기존 방안과의 성능 비교



(a) 데이터흐름의 대역폭 분산 비교



(b) 대역폭변경 회수 비교

(그림 9) 혼합비에 따른 혼합적용방안의 성능 비교

2, 1:1, 2:1, 3:1 등의 경우에 대한 혼합 전송률 적응 방안의 사용 대역폭 분산 특성과 대역폭변경회수에 대한 실험치를 그래프로 나타낸 것이다.

(그림 9-a) 그래프에 나타난 것처럼 f_1 과 f_2 의 요구대역폭의 비가 변경되어도 f_1 데이터흐름들에 대한 사용 대역폭 분산의 값은 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 의도했던대로 통신서비스의 질이 일정수준을 유지함을 의미한다. 한편 (그림 9-b) 그래프를 보면 f_1 데이터흐름의 대역폭요구가 많아질수록 대역폭변경의 회수가 많아지고 따라서 망오버헤드가 커짐을 알 수 있다. 극단적으로 모든 데이터흐름이 f_1 특성을 갖게되면 개선된 적응방안은 공정 적응방안과 동일해 질 것이다. 역으로 f_2 데이터흐름의 대역폭요구가 커질수록 망오버헤드는 줄어들고 평균-공정 적응방안 특성에 수렴하게 될 것이다.

5. 결 론

이동 통신망에서는 각 셀에 이동 호스트들이 집중으로 인한 링크대역폭이 과부하가 될 가능성이 높기 때문에 모든 데이터 흐름에 대한 QOS 요구가 만족될 수 없다. 따라서 적응성을 갖는 응용 서비스들은 가용한 대역폭 범위 내에서 동작하도록 설계되며, 링크의 과부하 상태가 발생하게 되면 각각의 데이터 흐름이 갖는 대역폭을 줄여서 이 문제를 해결할 수 있도록 하는 전송률 적응이 발생한다.

전송률 적응방안에서 고려되는 중요한 두가지 성질은 망 오버헤드와 공정성인데, 일반적으로 maxmin 최적성 표준을 만족하는 방법들은 과도한 망 오버헤드를 유발한다. 특히 이동망에서는 사용자들의 높은 이동성 때문에 너무나 많은 전송률 적응을 유발할 수 있다. 망 오버헤드를 줄이기 위하여 한계값을 이용한 공정 적응방안이 있으나 모의실험을 통한 성능분석 결과 평균-공정 적응방안에 비해 비교적 높은 대역폭 변경 회수를 보여주고 있다. 그러므로 망 오버헤드만을 고려한다면 평균-공정 적응방안이 우수함을 알 수 있다. 그러나 성능분석에 따르면 평균-공정 적응방안은 각 데이터흐름의 대역폭 변화의 크기가 상대적으로 크기 때문에 통신 서비스의 질을 떨어뜨릴 수 있는 단점이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 두가지 적응방안을 혼합하여 개선된 적응방안을 제안하였다. 이 방안은 통신서비스의 특성을 고려하여 대역폭 변화에 민감한 서

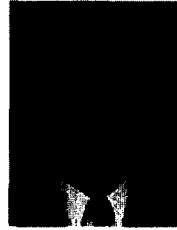
비스를 위해서는 maxmin 최적성을 만족시키는 공정 적응방안을 이용하도록 하며, 한계값을 이용하여 망 오버헤드를 줄이도록 한다. 또한 대역폭 변화에 크게 구애받지 않는 서비스는 평균-공정 적응방안을 적용하도록 한다. 이를 위해 링크의 가용 대역폭을 두 부분으로 나누어 두 가지 적응방안에 할당하며, 나뉘는 대역폭의 비는 요구되는 두가지 서비스의 대역폭의 비에 따른다. 이에 관한 성능평가를 위해 모의실험을 이용하였다. 실험결과 제시한 방안은 기존의 방법에 비해 대역폭변화에 민감한 서비스에게는 향상된 사용대역폭 분산 특성을 보이면서 전체적인 망 오버헤드 측면에서 개선이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Bakre, A. and Badrinath, B. R., "Handoff and system support for indirect TCP/IP," In Proc. of the 2nd Usenix symposium on mobile and location independent computing, pp.11-24, April 1995.
- [2] Balakrishnan, Hari, et.al., A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links, In Proc. of the ACM SIGCOMM, Stanford, CA., August 1996.
- [3] 조현준, "이동 인터넷에서의 TCP와 무선데이터링크의 재전송 간섭", 한국정보처리학회 논문지, 제6권 제11호, 1999, 11.
- [4] Belzer, B., Liao, J. and Willasenor J. D., "Adaptive Video Coding for Mobile Wireless Networks," Proc. IEEE ICIP-94, Austin, Texas, 1994.
- [5] Anna Charny, David D. Clark, Raj Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication," Proc. ICC'95, June 1995.
- [6] Abraham, S. P. and Kumar, A., "A Stochastic Approximation Approach for Max-min Fair Adaptive Rate Control of ABR Sessions with MCRs," INFOCOM'98, 1998.
- [7] Tsang, D. H. K., Wong, W. K. F., "A New Rate-Based Switch Algorithm for ABR Traffic to Achieve Max-Min Fairness with Analytical Approximation and Delay Adjustment," Proc. Globcomm'96,

1996.

- [8] Songwu Lu, Vaduvur Bharghavan, "Adaptive Resource Management Algorithms for Indoor Mobile Computing Environments," Proceeding of SIGCOMM '96, 1996.
- [9] Anup Kumar Talukdar, B. R. Badrinath, "Rate Adaptation Schemes in Networks with Mobile Hosts," Proceeding of the ACM/IEEE MobiCom, pp.169-180, 1998.
- [10] Richard A. Meyer, "PARSEC User Manual release 1.1," Aug. 1998, (<http://pcl.cs.ucla.edu>).



조 현 준

e-mail : chohj@jeonju.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1987년 고려대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1995년 고려대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학박사)

1989~1991 (주)쌍용컴퓨터 시스템연구소 연구원

1995~현재 전주대학교 전자매체공학부 조교수

관심분야 : 초고속통신망, 이동통신망, 프로토콜공학 등