

# Ad-hoc 통신망에서 이동 단말의 에너지 효율성을 고려한 능동적인 혼잡 제어 기법

조남호<sup>0</sup>, 이정민, 이승형, 최웅철, 정광수

광운대학교 전자공학부 컴퓨터통신연구실

{nhcho<sup>0</sup>, jmlee}@adams.kw.ac.kr, {shrlee, wchoi, kchung}@daisy.kw.ac.kr

## Proactive Congestion Control

### for Energy Efficiency of Mobile Device in Ad-hoc Network

Namho Cho<sup>0</sup>, Jungmin Lee, WoongChul Choi, Seung Hyong Rhee, Kwangsue Chung  
School of Electronics Engineering, Kwangwoon Univ.

#### 요 약

최근 기지국(Base Station)의 도움 없이 이동 단말기(Mobile Device) 간의 다중 무선 홉을 사용하여 송수신자 간의 데이터 전송을 가능하게 하는 Ad-hoc 통신망에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Ad-hoc 통신망을 구성하는 이동 단말은 이동성을 고려하여 한정된 배터리로 동작을 하게 된다. Ad-hoc 통신망에서 이동 단말은 종단(End Host)으로만 동작하는 것이 아닌 중계 노드(Intermediate Node)로도 동작하기 때문에 통신상에 경로를 제공하는 중요한 역할도 한다. 하지만, 현재 인터넷 상에서 광범위하게 사용되고 있는 전송 규약인 TCP(Transmission Control Protocol)는 수동적인(Reactive)혼잡 제어(Congestion Control)방식으로 망의 혼잡으로 인한 패킷 손실 발생 이전까지 전송 윈도우의 크기를 증가 때문에 반복적인 혼잡과 그로 인한 패킷 손실로 인해 불필요한 재전송을 반복하게 된다. 이와 같이 기존 TCP는 무선 통신망에서 동작하는 이동 단말의 한정된 배터리 전원을 고려하지 않고 동작하기 때문에 이동 단말의 에너지를 불필요하게 낭비하는 문제를 가지게 된다. 본 논문은 Ad-hoc 망에서 이동 단말의 에너지 효율을 개선하기 위해 불필요한 재전송 방지 및 망 상태에 따라 전송률을 적절하게 조절하는 TCP의 새로운 혼잡 제어 기법을 제시하였다. 또한 ns-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 이동 단말의 에너지 효율이 제안된 혼잡 제어 기법에 의해 향상되었음을 확인하였다.

#### 1. 서 론

오늘날 무선 환경에서 인터넷을 사용할 수 있는 무선 인터넷의 보급으로 인해 그 사용자가 크게 증가하고 있다. 그로 인해 무선 환경을 고려한 많은 연구가 진행되고 있으며, 기지국의 도움 없이 이동 단말기 간의 다중 무선 홉을 사용하여 송수신자 간의 데이터 전송을 가능하게 하는 Ad-hoc 통신망에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. Ad-hoc 통신망은 유선망과 달리 망을 구성하는 이동 단말이 배터리 전원에 의존하여 동작하기 때문에 유선망에서 고려되지 않는 통신상의 제약을 가지고 있다. 따라서 이동 단말의 제한된 배터리 전원을 효율적으로 이용하기 위해 프로세싱 하중과 통신 프로토콜에 의한 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법이 필요하다 [1].

TCP는 현재 인터넷 상에서 광범위하게 사용되고 있는 전송 프로토콜로써 유선망의 신뢰적인 전송 매체를 고려하여 개발되었다. TCP의 혼잡 제어 방식은 수동적인 혼잡 제어 방식으로 망의 혼잡으로 인한 패킷 손실 발생 이전까지 혼잡 윈도우의 크기를 증가시킨다. 이러한 동작은 망의 혼잡 상태를 반복하게 됨으로 불가피한 패킷 손실이 발생하며, 결과적으로 불필요한 재전송을 반복하게 된다 [2]. 이러한 기존 TCP의 불필요한 재전송의 반복은 유선망에서는 통신상의 문제가 되지 않지만, Ad-hoc 통신망에서는 이동 단말의 한정된 배터리 전원을 불필요하게 낭비하는 문제를 초래하게 된다.

본 논문에서는 TCP의 불필요한 재전송 반복의 문제점을 해결

하고 이동 단말의 에너지 효율을 개선하기 위해 TCP의 새로운 혼잡 제어 기법을 제시한다. 또한 ns-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 검증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 Ad-hoc 통신망에서 이동 단말의 에너지 효율 향상을 위한 관련 연구에 대해 살펴본 후, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 혼잡 제어 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 혼잡 제어 기법의 성능 평가를 위한 실험과 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

#### 2. 관련 연구

전송 계층에서 소비되는 에너지의 형태는 그림 (1)과 같이 표현될 수 있다. 데이터 통신으로 인하여 시스템에서 전체적으로 소비되는 에너지  $E_{Total}$ (Total Energy Consumption)은 크게 유휴 상태 동안 소비되는 에너지  $E_{Idle}$ (Idle Energy Consumption)와 패킷을 송수신할 때 필요한 에너지인  $E_{Rx}$ (Received Energy Consumption)과  $E_{Tx}$ (Transmitted Energy Consumption)로 구분할 수 있다 [3].

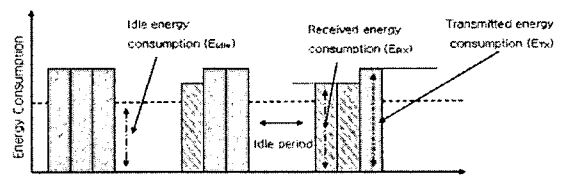


그림 (1). 전송 계층의 에너지 소비 형태

\* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 [R01 - 2005 - 0000 - 10934 - 0 (2005)]의 지원에 의해 수행되었음.

그림 (1)을 바탕으로 Ad-hoc 통신망에서 이동 단말의 에너지 효율을 개선하기 위한 연구는 크게 유휴 상태에서 에너지 소비를 줄이는 방법과 송수신 에너지 소비를 줄이는 방법으로 나뉘어 볼 수 있다. 첫째, 유휴 상태에서 에너지 소비를 줄이는 방법으로, 연결 시간(Connection Time)의 단축을 위해 가용 대역폭을 효율적으로 사용하고, 불필요한 Backoff를 방지하는 연구 등이 있다. 대표적으로 현재의 가용 대역폭을 측정하여 효율적으로 가용 대역폭을 사용하는 TCP-Westwood와 불필요한 Backoff를 방지하기 위해 제어 메시지(Control Message)를 사용하는 ECN(Explicit Congestion Notification), ELN(Explicit Loss Notification), ELFN(Explicit Link Failure Notification) 등이 있다 [3]. 둘째, 송수신 에너지 소비를 줄이는 방법으로는 송수신의 횟수 및 에너지양을 줄이기 위해 불필요한 재전송을 방지하는 방법과 헤더 압축(Header Compression)과 같은 방법 등이 있다. 대표적으로, 현재의 무선 상태를 모니터링 하여 전송률을 조절하는 방식의 AdTCP와 불필요한 Header를 줄이는 WWP(Wave & Wait Protocol)등이 있다.

하지만, 현재의 기존 연구도 기본적으로 수동적인 혼잡 제어 방식을 사용함으로써 이동 단말의 에너지 낭비를 근본적으로 방지할 수 없는 문제점을 가진다.

### 3. Ad-Vegas (Ad-hoc Vegas)

#### 3.1 기존 TCP의 문제점

기존 TCP는 패킷 손실 이후에 전송률을 조절하는 수동적인 방법으로 혼잡 제어를 수행 한다. 수동적인 혼잡 제어 방식은 패킷 손실 이전까지 혼잡 윈도우의 크기를 증가시킴으로써 전송률을 증가시키기 때문에 망의 혼잡으로 불가피한 패킷 손실 및 재전송을 반복하게 된다. 그림 (2)는 TCP Reno의 혼잡 윈도우 변화를 나타내는 그림으로써 망이 안정된 상태 내에서도 불필요한 패킷 손실과 반복적인 재전송이 발생하는 것을 알 수 있다.

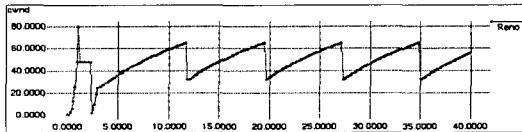


그림 (2). TCP-Reno의 Congestion Window의 변화

TCP-Vegas는 패킷 손실 이전에 전송률을 조절하는 능동적인 (Proactive) 방법으로 혼잡 제어를 수행한다. 현재의 전송률과 기대 전송률을 바탕으로 현재의 망 상태를 파악하여 패킷 손실이 발생하기 전에 전송률을 조절함으로써, 기존의 TCP-Reno와는 달리 불필요한 패킷 손실과 반복적인 재전송을 방지하게 된다. 그림 (3)은 TCP-Vegas의 혼잡윈도우 변화를 나타내는 그림으로, 혼잡윈도우를 안정된 상태로 유지하는 것을 나타낸다.

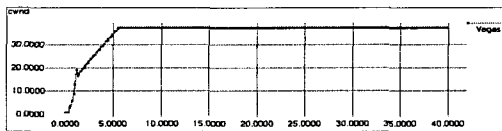


그림 (3). TCP-Vegas의 Congestion Window의 변화

이와 같이 Ad-hoc 통신망에서 TCP-Vegas의 능동적인 혼잡 제어 방식은 패킷 손실 발생 이전에 혼잡 윈도우를 감소시킴으로써 Reno의 반복적인 재전송을 방지 할 수 있으며, 결론적으로 이동 단말의 불필요한 에너지 낭비를 방지하기 때문에 이동 단말의 에너지 효율을 향상시키는데 있어 효과적이라고 할 수 있다. 하지만, TCP-Vegas는 공평성(Fairness)문제에 의해

Reno와 경쟁할 경우 전송률이 저하되는 단점을 가지고 있다. 따라서 TCP-Vegas가 갖는 불공평성을 해결하면서, Ad-hoc 통신망에서 이동 단말의 에너지 효율 개선을 위한 새로운 능동적인 혼잡 제어 알고리즘이 필요하다.

#### 3.2 Ad-Vegas (Ad-hoc Vegas)

TCP-Vegas가 갖는 불공평성 문제의 주요 원인은 큐의 부하 (Queuing Load)를 일정하게 유지하려는 보수적인 (Conservative) 성격을 가지기 때문이다. 또한 baseRTT를 통신 기간 동안의 최소 RTT(Round Trip Time)로 가정하는 한계에 있다. 즉, 정확하지 않은 baseRTT로 인해 Diff 값의 오류가 커지기 때문이다. 따라서 이러한 TCP-Vegas의 문제점을 해결하기 위해 기존의 Vegas 알고리즘 이외에 큐의 부하를 모니터링 하는 알고리즘을 제안한다.

$$Dq = ACK \text{ receiving interval} - Packet \text{ sending interval} \quad \text{식(1)}$$

$$= RTT_n - RTT_{n-1}$$

식 (1)의 Dq(Differentiated Queue)는 ACK의 수신 간격과 패킷의 전송 간격의 차로써, 현재 RTT와 이전 RTT의 차로 치환할 수 있다.

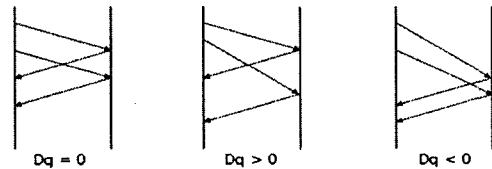


그림 (4). Queuing Load에 따른 Dq변화

그림 (4)는 패킷의 큐잉으로 인해 패킷의 전송 간격과 수신간격의 차이가 발생하는 그림으로, Dq가 음의 값을 갖는 것은 큐의 부하가 감소한 것을 나타내며, Dq가 양의 값을 갖는 것은 큐의 부하가 증가했음을 의미한다. 또한, Dq가 0일 때는 큐의 부하가 일정한 것을 의미하게 된다.

큐의 부하를 모니터링 한 Dq를 이용하여 그림 (5)와 같이 전송률 조절 방법을 세 가지로 나누어 동작함으로써 TCP-Vegas의 문제점인 보수적인 성격을 보완하며 baseRTT의 의존도를 낮게 수정한다. Dq값이 음의 값을 가지면, 큐의 부하가 줄어들었음을 의미하게 되므로, 공격적(Aggressive)으로 전송률을 증가시키며, 반대로 Dq값이 양의 값을 가지면, 큐의 부하가 늘어나는 것을 의미하게 되므로, 이때는 기존의 TCP-Vegas와 같이 보수적으로 동작하게 된다. 또한, Dq가 0의 값을 가지는 것은 큐의 부하가 일정하게 유지 되는 것을 의미하게 되는데, 이러한 경우에도 Reno는 전송률을 계속적으로 증가하기 때문에, Reno와의 경쟁력을 고려하여 적극적(Active)으로 전송률을 조절한다.

```

If (Dq < 0)
    Aggressive mode
    If (Diff < β)
        Set cwnd = cwnd
    Else
        Set cwnd = cwnd + 1
If (Dq = 0)
    Active mode
    If (Diff > α)
        set cwnd = cwnd + 1
    If (α < Diff < β)
        set cwnd = cwnd + 1/2
    If (Diff > β)
        set cwnd = cwnd
If (Dq > 0)
    Conservative mode
    If (Diff > α)
        set cwnd = cwnd + 1
    If (α < Diff < β)
        set cwnd = cwnd
    If (Diff > β)
        set cwnd = cwnd - 1
    
```

그림 (5). Dq를 이용한 새로운 혼잡 제어 알고리즘

위와 같이 Dq를 이용하여 큐의 부하를 모니터링 하고 baseRTT의 의존도를 낮춤으로써 기존의 Vegas가 갖는 보수적인 전송률 조절 방법을 개선하였다. 그럼으로써 Reno와의 경쟁에서 공평하게 동작하도록 성능을 개선함과 동시에, 가용 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있도록 성능을 향상시켰다.

4. 실험 환경 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 Ad-Vegas의 성능을 평가하기 위하여 버클리 대학의 ns-2(Network Simulator)를 이용하여 두 가지 실험을 하였다 [4]. 첫째는 채널 에러에 의한 패킷 손실 없이 혼잡에 의한 패킷 손실만 발생할 때 기존 Reno와의 공평성을 실험하였으며, 둘째는 채널 에러로 인한 패킷 손실에 따른 성능 실험을 하였다.

4.1 Ad-Vegas와 Reno 플로우 간의 공평성 실험

Ad-Vegas와 Reno 플로우 간의 공평성 실험을 위해 그림 (6)과 같은 토폴로지의 환경을 구성하여 실험하였다.

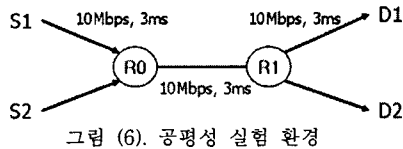


그림 (6). 공평성 실험 환경

그림 (6)은 채널 에러에 의한 패킷 손실이 없는 유선 환경에서 S1과 S2의 2개의 송신자와 D1과 D2까지의 2개의 수신자로 이루어져 있다. S1 노드는 Reno프로토콜을 사용하여 D1 노드로 0초부터 60초 까지 데이터를 전송을 하며, S2 노드는 Ad-Vegas 프로토콜을 사용하여 10초부터 60초 까지 D2 노드로 데이터를 전송하게 된다. 패킷의 크기는 1Kbytes이며, 총 실험 시간은 60초이다.

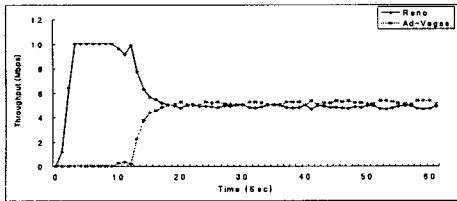


그림 (7). Reno와 Ad-Vegas의 공평성 실험

그림 (7)와 같이 Ad-Vegas는 채널 에러에 의해 패킷 손실이 없고 혼잡에 의한 패킷 손실만 있는 경우 Reno와 공평하게 동작하는 것을 확인할 수 있다. 이는 Ad-Vegas가 큐의 부하에 따라 전송 방법을 3가지로 나누어 TCP-Vegas의 보수적인 전송률 조절의 문제를 해결하고 Reno와의 불공평성을 개선한 것을 나타낸다.

4.2 채널 에러에 의한 손실에 따른 성능 실험

채널 에러에 의한 손실에 따른 Ad-Vegas의 성능을 실험하기 위하여 그림 (8)과 같은 토폴로지를 갖는 환경을 구성하여 실험하였다.

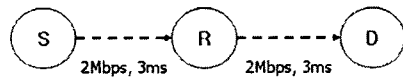


그림 (8). 손실에 따른 성능 실험 환경

그림 (8)은 2Mb의 대역폭과 3ms의 지연시간을 갖는 IEEE 802.11b MAC을 사용하여 Ad-hoc 통신망을 구성하였다. 채널 오류에 의한 손실률은 0~10%로 각각 나누어 실험을 하며, 총

60초 동안 송신자는 수신자로 1Kbytes 크기의 패킷을 계속적으로 전송한다.

그림 (9)는 채널 에러에 의해 패킷 손실이 발생하는 환경에서 Reno와 Ad-Vegas의 전송 성능을 실험한 결과로, 망의 상태에 따라 전송률의 증감을 조절하는 Ad-Vegas가, 전송률의 변화가 심한 Reno보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

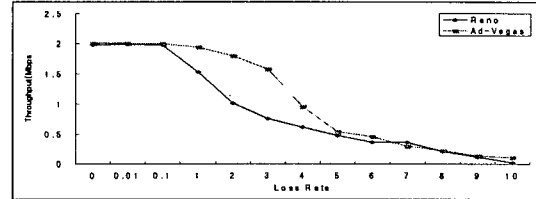


그림 (9). Reno와 Ad-Vegas의 손실률에 따른 전송률

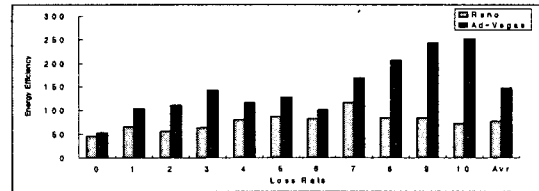


그림 (10). Reno와 Ad-Vegas의 손실률에 따른 에너지 효율

또한 그림 (10)은 식 (2)를 기준으로 패킷 손실률에 따른 에너지 효율 실험의 결과를 나타내는 그림으로써, Ad-Vegas의 능동적인 혼잡 제어 방식이 Reno의 수동적인 혼잡제어 방식보다 더 좋은 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

$$Energy\ Efficiency(\eta) = \frac{Throughput}{Consumed\ Energy} (Kb/s) \quad \text{식 (2)}$$

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존 TCP의 수동적인 혼잡 제어 방식의 문제점을 지적하고 TCP-Vegas의 공평성 문제를 해결하기 위해 Ad-hoc 통신망을 구성하는 이동 단말의 에너지 효율을 고려한 능동적인 혼잡 제어 방식의 Ad-Vegas를 제안하였다. 실험에서 Ad-Vegas는 Reno와 공평하게 동작하며, 채널 에러에 의한 패킷 손실이 발생하는 환경에서 Reno보다 더 좋은 전송 성능을 나타낸다. 또한 에너지 효율적 측면에서 Reno보다 평균적으로 약 2배의 성능 향상을 확인할 수 있다. 결론적으로 Ad-Vegas는 망 내 큐의 상태를 모니터링 하고 그에 따라 능동적으로 전송률을 조절함으로써 Reno보다 더 좋은 성능을 나타낼 수 있음을 확인할 수 있다.

유선망과 다르게 Ad-hoc 통신망은 이동 단말의 제한적인 에너지 외에 더 많은 제약점을 가지고 있다. 따라서 향후 과제로 Ad-hoc 통신망의 특성을 전반적으로 고려한 프로토콜의 연구가 수행될 것이다.

참고 문헌

[1] C. Johns and K. M. Sivalingam, "A Survey of Energy Efficient Network Protocol for Wireless Networks", Kluwer 2001  
 [2] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," ACM SIGCOMM'88, August 1988  
 [3] H. Singh, S. Saxena, and S. Singh, "Energy Consumption of TCP in Ad-hoc Networks", Wireless Networks 10(5): 531-542 (2004)  
 [4] The Network Simulator-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>