

무선 TCP 환경에서 재전송 제어를 통한 저전력 전송기법

김태현[○] 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{thkim,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

A Power-aware Retransmission Mechanism in Wireless TCP Networks

Taehyun Kim[○] Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 무선환경에서 TCP를 이용한 데이터 전송시 전력 소비를 감소시킬 수 있는 저전력 전송 기법을 제안한다. TCP 프로토콜은 재전송, 그리고 혼잡제어 등의 기능을 통해 효율적이고 신뢰성있는 통신을 지원한다. 이러한 특성은 망상태가 악화될 경우 이동기기에서 과도한 재전송 및 혼잡제어를 일으켜 이동기기의 전력소비를 증가시키는 주요한 원인이 된다. 본 논문에서는 재전송 제어를 통해 이를 해결하고 제시된 기법이 기존의 프로토콜보다 전력 소비면에서 효율적임을 시뮬레이션을 통해 밝힌다.

1. 서론

유선망에 최적화되어 설계된 TCP 프로토콜은 송신단과 수신단의 신뢰성있는 데이터 전송을 보장한다. 송신단은 일정 시간이 지난후 Ack(acknowledgement) 패킷을 수신하지 못하면 재전송 타임아웃을 발생시킨다. 또한, 데이터 패킷의 손실을 의미하는 중복 Ack 패킷을 수신하면 네트워크에 혼잡이 발생했다고 가정한다. 송신단은 손실된 패킷에 대하여 재전송 및 혼잡제어로 데이터 전송의 신뢰성을 보장한다[1]. 이런 TCP의 신뢰성을 보장하는 특성은 AC 전원을 사용하는 유선망을 기반으로 설계되었기 때문에 이를 그대로 이동기에 적용할 경우 문제가 발생한다. 이동기는 용량이 제한된 배터리를 사용하기 때문에 망상태가 악화될 경우, 같은 데이터의 중복전송과 불필요한 혼잡제어는 이동기기의 전력소비를 증가시키는 원인이 된다. 본 논문은 이를 해결하기 위해 송신단과 수신단 사이의 망을 두 부분으로 분리하는 방법을 사용한다. 이는 이미 TCP의 전송률을 향상시키기 위해 Indirect TCP[2](이하 I-TCP로 표기함)와 Snoop 프로토콜[3]에서 제안되었던 방법으로 새로운 개념이 아니다. 본 논문에서는 전송률이 아닌 저전력 측면에서 기존의 Snoop 프로토콜을 수정하여 저전력 전송 기법을 개발한다. 전력소비 및 구조적 측면에서 기존 I-TCP와 Snoop 프로토콜의 문제점을 살펴보면 다음과 같다. I-TCP는 송신단과 수신단 사이에 에이전트를 위치시켜 송신단과 에이전트, 에이전트와 수신단 각각 독립적으로 연결을 맺는다. 따라서, 에이전트가 위치한 기지국이후 무선 망에서의 패킷 손실을 송신단에 감추고 지역적 재전송을 수행하는 방법이다. I-TCP는 무선망의 오류를 송신단에게 완전히 감출 수 있다는 장점을 가지나, 중단간 연결구조를 위반하게 된다. 또한, TCP를 대체하는 I-TCP를 사용하기 때문에 송신단과 수신단의 프로토콜 구조의 변경을 필요로 하는 문제점을 가지고 있다. Snoop 프로토콜은 무선망에서 발생한 패킷 손실에 대해 에이전트에서 지역 재전송을 수행하여 복구하는 동안 송신단은 Ack를 기다려야 한다. 따라서, 무선망에서 지속적인 패킷 손실이 발생할 경우 송신단은 재전송 타임아웃으로 해당 패킷

을 재전송하게 된다. 이는 같은 패킷의 중복전송으로 송신단의 전력소비를 증가시키는 원인이 된다. 본 논문은 이러한 Snoop 프로토콜의 단점을 보완하고 이를 이동기에 적용하여 전력 소비를 최소화하는 저전력 전송기법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 저전력 전송 기법을 위한 시스템 구조 및 알고리즘을 살펴보고, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하며, 4장에서 결론을 맺는다.

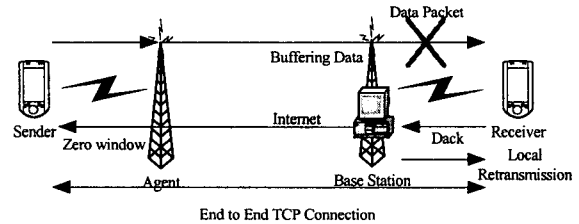


그림 1 : 시스템 구성도

2. 저전력 전송기법

다음은 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법의 구조 및 동작과정을 기술한다.

2.1 시스템 구조

논문에서 제안하는 시스템 구조는 그림 1과 같다. 이동기기에서 데이터 전송시 수신단 기지국에 에이전트를 두어 수신단측 무선망에서 패킷 손실 발생시 에이전트가 재전송을 대신 수행하게 한다. 무선망에서 지속적인 에러가 발생할 경우 에이전트는 송신단에 윈도우 크기가 0인 Ack(이하 Zero 윈도우라고 표기함)를 송신함으로써 송신단을 전송 대기상태로 변경시킨다. 따라서, 송신단은 재전송 타임아웃에 의한 재전송을 수행하지 않고 수신단으로부터 다음 Ack를 수신할 때까지 대기하게 된다.

• 본 연구는 정보통신연구진흥원에서 지원하는 정보통신기초기술연구 지원사업으로 수행하였습 (과제번호 : C1-2003-A1-2000-0240)

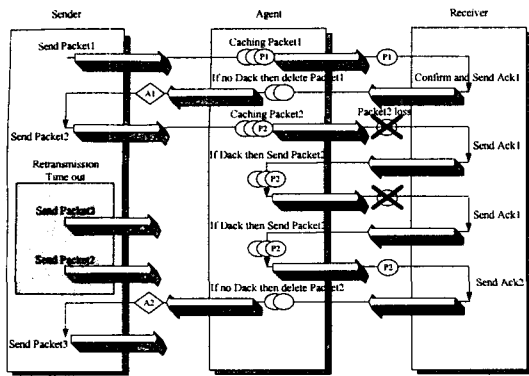


그림 2 : 기존 Snoop 프로토콜의 흐름도

그림 2는 기존 Snoop 프로토콜의 흐름도를 나타낸 것이고 그림 3은 저전력 전송기법을 위해 수정된 Snoop 프로토콜의 흐름도를 나타낸 것이다. 수정된 Snoop 프로토콜의 흐름도는 다음과 같다. 송신단에서 수신단으로 전송되는 데이터 패킷을 버퍼에 저장하며 송신단과 수신단 사이에 전송되는 Ack와 데이터 패킷을 각각의 목적지로 전달하는 기능을 가진다. 중복 Ack가 발생하면, 에이전트는 송신단에게 중복 Ack를 전달하지 않고 삭제하며, 에이전트 버퍼에 저장되어 있는 해당 패킷을 수신단에게 재전송하여 패킷 손실을 지역적으로 복구한다. 무선망에서 지속적인 에러가 발생하면 에이전트는 송신단에 Zero 윈도우를 전송하여 송신단을 전송 대기 상태로 변경시킨다. 패킷이 기지국의 에이전트를 통과하여 수신단에게 전달되는 과정은 다음과 같다. 에이전트는 도착한 데이터 패킷이 새로운 패킷인가를 확인한다. 새로운 패킷이 아니면 저장하지 않고 수신단에게 전달한다. 도착한 패킷이 새로운 패킷이지만 순서에 맞지 않으면 에이전트는 망에서 패킷손실이 발생했다고 판단하고 해당 패킷을 수신단에게 재전송한다. 도착한 패킷이 순서에 맞게 올바르게 도착한 새로운 패킷이면 복사본을 기지국의 버퍼에 저장하고 수신단에게 전달한다.

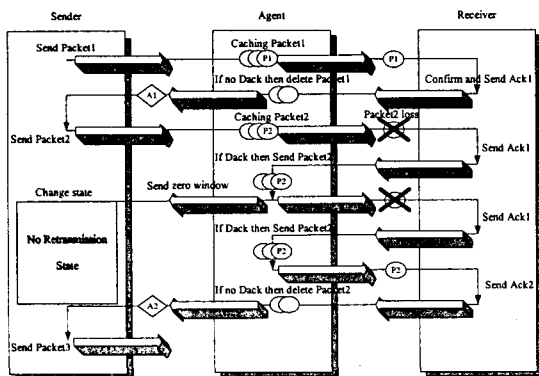


그림 3 : 저전력 전송기법의 흐름도

2.2 저전력 전송 알고리즘

그림 4와 5는 저전력 전송기법을 위해 기존 Snoop 프로토콜에 추가된 부분을 보여준다. 본 논문에서는 에이전트에서 재전송을 수행하는 시간동안 재전송 타임아웃에 의한 송신단의 재전송은 이동기기의 전력 소비를 증가시키는 원인임을 알고, 에이전트에서 송신단에 Zero 윈도우를 보내 송신단을 전송 대기 상태로 변경시킨다. Snoop 프로토콜은 송신단으로부터 수신된 데이터를 버퍼에 저장하고 이를 수신단에 전송하게 된다. 따라서, 지속적인 에러로 버퍼에 패킷을 저장할 공간이 존재하지 않게 되면 해당 데이터 패킷은 버려지게 되고 송신단은 추후에 재전송을 수행하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 Snoop 에이전트에서 데이터 패킷을 수신하게 되면 버퍼를 모니터링하여 패킷을 저장할 공간이 있는지 확인한 후 공간이 존재하지 않을 경우 송신단에 Zero 윈도우를 전송한다. 송신단은 Zero 윈도우를 수신하면 수신측이 데이터를 수신할 수 없다고 가정하여 데이터 전송을 중지하고 전송 대기상태로 전환된다. 전송 대기상태동안 송신단은 Persist 타이머를 가동하게 되고 Persist 타이머가 완료되면 수신단의 버퍼가 비었는지 확인하는 메시지를 전송하게 된다. 그러나, 이 기능 또한 송신단에서 패킷을 전송하게 하는 원인이 된다. 본 논문에서는 에이전트에 의해 Persist 타임아웃이 발생하기 전 에이전트에서 주기적으로 송신단에 Zero 윈도우를 전송한다. 에이전트가 송신단에 Zero 윈도우를 보내 송신단이 이를 수신하게 되면 송신단은 전송 대기상태를 유지하게 된다. 송신단은 재전송을 수행하지 않기 때문에 전력 소비가 감소하게 된다. 무선망 상태가 악화될 수록 에이전트에서 재전송이 많이 발생하게 되고 송신단에서 재전송이 발생하기 않기 때문에 기존 TCP 프로토콜보다 이동기기의 전력소비를 최소화할 수 있다.

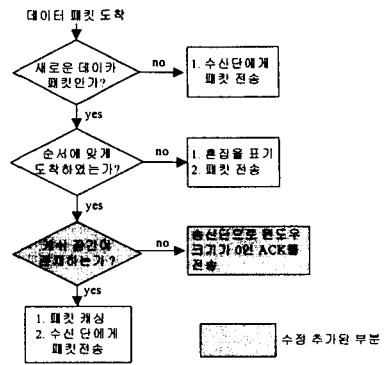


그림 4 : 저전력 전송 기법의 패킷 처리

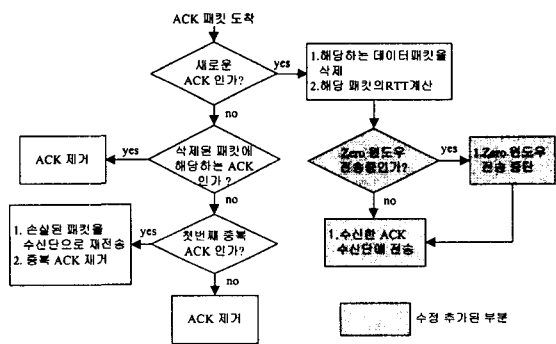


그림 5 : 저전력 전송 기법의 Ack 처리

3. 성능분석

실험은 Linux Kernel 2.4.20에서 NS2 2.26버전을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. TCP의 전송 패킷크기는 1040Bytes, 기본적인 전송지연은 10ms로 하였다. 무선망에서의 전송 속도는 11Mb/sec로 하였고 유선망에서의 전송속도는 5Mb/sec로 하였다. 수신단 측 무선망에서 발생하는 에러율에 따라 패킷 100개를 전송할 경우 TCP, Snoop 프로토콜 그리고 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법을 사용하여, 송신단에서 발생하는 전력 소비를 [4]에서 제안한 파워모델을 사용하여 계산하였다. [4]에서 제안한 파워모델은 Lucent IEEE 802.11 WaveLan PC 카드에 기반하여 802.11b 환경에 적합하도록 설계되었다. Ad-hoc 환경과 Base Station 환경에서 Peer to peer 및 Multicast인 경우를 고려하였으며, UDP를 이용하여 패킷을 전송할 때와 수신할 때 소비되는 에너지를 측정하였다. 측정된 에너지를 기반으로 패킷 한 개를 전송할 때와 수신할 때 소비되는 에너지를 계산하였으며 이를 $m \cdot size + n$ 으로 수식화 하였다. m 은 전송할 때 또는 수신할 때 사용되는 개수이며 $size$ 에 상관없이 일정한 값을 유지한다. $size$ 는 패킷의 크기를 의미한다. n 은 패킷 크기에 상관없이 전송 또는 수신할 때 기본적으로 소비되는 에너지이다. 이 파워모델에서는 Base Station 환경에서 대역폭이 11Mbps인 경우 패킷 1개를 전송할 때 개수 m 은 1.9이며 전송하는 패킷의 크기와 상관없이 소비되는 에너지는 454(uW*sec)로 측정되었다. 패킷 1개를 수신할 경우 개수 m 은 0.5이며 패킷의 크기와 상관없이 소비되는 에너지는 356(uW*sec)로 측정되었다.

[4]에서 제시한 파워모델은 UDP에 기반한 모델이므로 본 논문에서는 TCP를 이용하는 무선망에서 소비되는 에너지를 계산하기 위해, [4]를 기반으로 수정된 파워모델을 제시하여 사용한다. 식 1은 Base Station을 이용한 무선환경에서 TCP를 이용하여 데이터를 전송할 경우 패킷의 수 및 크기, 그리고 Ack의 수와 크기에 따라 소비되는 에너지를 나타낸다. TCP는 전송되는 패킷과 수신되는 Ack로 구분할 수 있으며 이는 각각 같은 크기를 가지는 UDP로 전송되는 패킷과 수신되는 패킷으로 나타낼 수 있다. 따라서, TCP로 데이터를 전송하는 경우 전송할 패킷은 UDP를 이용하여 전송하는 같은 크기를 가지는 패킷으로 가정할 수 있으며, 수신되는 Ack는 UDP를 이용하여 수신되는 같은 크기를 가지는 패킷으로 가정할 수 있다. 총 전송되는 패킷의 수와 수신되는 Ack의 수를 고려하여 식 1과 같이 유도할 수 있다. 표 1은 식 1에서 사용된 인자에 대한 설명을 나타낸다. $E(s)$ 는 UDP를 이용하여 패킷 한개를 전송할 때 소비되는 에너지이며 TCP의 패킷 전송에 소비되는 에너지와 같다. $E(r)$ 은 UDP를 이용하여 패킷 한 개를 수신할 때 소비되는 에너지이며 TCP의 Ack를 수신할 때 소비되는 에너지와 같다. p 와 a 는 각각 패킷과 Ack의 수를 나타낸다.

$$Energy(TCP) = E(s) \times p + E(r) \times a \quad (1)$$

인자	기술
$E(s)$	1.9 * size + 454 (packet 전송)
$E(r)$	0.5 * size + 356 (ack 수신)
p	전송 패킷 수
a	수신 Ack 수

표 1 : TCP 파워모델 인자

그림 7은 앞에서 제시한 파워모델을 사용하여 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법, 기존 TCP 및 Snoop 프로토콜을 사용하였을 경우, 에러율에 따른 전력 소비를 비교한 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 TCP 프로토콜을 사용하였을 경우 무선망에서 발생한 에러율이 증가할수록 전력 소비가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 패킷 손실에 따른 재전송이 모두 송신단에서 이루어지기 때문에 에

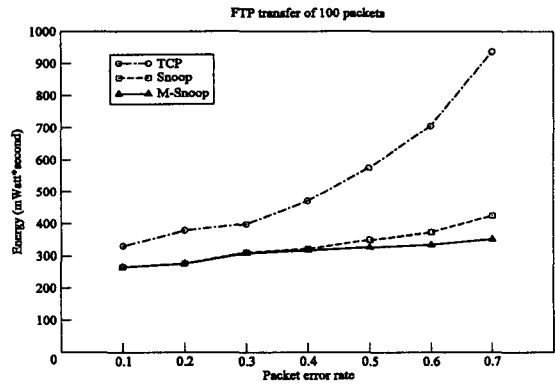


그림 7 : 에러율에 따른 전송 에너지

이전트에서 재전송을 수행하는 Snoop과 저전력 전송 기법에 비해 상대적으로 높음을 알 수 있다. Snoop 프로토콜은 손실된 패킷에 대해 에이전트에서 재전송을 수행하므로 TCP보다 낮은 전력 소비를 나타낸다. 하지만 에러 발생율이 높은 곳에서는 재전송 타임아웃에 의한 패킷 재전송이 송신단에서 발생함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 저전력 전송 기법은 패킷 에러율이 낮은 곳에서는 Snoop과 같은 전력 소비를 나타내지만 에러율이 높은 곳에서는 송신단을 전송 대기상태로 전환시키기 때문에 Snoop 프로토콜에 비해 전력 소비를 최소화 할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 기존의 Snoop 프로토콜을 수정하여, 송신단과 수신단의 변경 없이 기지국의 변경만으로 전송시 전력소비를 감소시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 무선망에서의 지속적인 에러 발생시 패킷 손실에 대한 재전송을 에이전트가 수행하도록 하고 이 기간동안 송신단은 전송 대기상태로 전환하도록 구조를 변경하였다. 따라서, 수신단측에서 발생한 모든 에러에 대해 재전송이 에이전트에서 이루어지고 지속적인 에러환경에서도 송신단에서 재전송이 발생하지 않기 때문에, 송신단의 재전송으로 인한 전력소비를 감소시킨다. 향후 과제로는 수신단이 이동기기가 아닌 유선에 연결되어 있는 데스크탑의 경우도 고려하여 이동기기에서의 전력 소비를 감소시킬 수 있는 저전력 전송 기법을 개발할 예정이다.

참고문헌

[1]TCP/IP Illustrated Vol. 1. Addison-Wesley 1995.
 [2]Bakre, A. V. Badrinath, B. R, "Implementation and Performace Evaluation of Indirect TCP", *IEEE Transations on Computers*, Volume:46 Issue:3, March 1997.
 [3]Balakrishnan, H. Padmanabhan, V. N. Seshan, S. Katz, R.H, "A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Volume: 5 Issue: 6, Dec. 1997.
 [4]L. M. Freney and M. Nilsson, "Investigaging the Energy Consumption of Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment", *IEEE INFOCOM*, pp. 1548-1557, 2001.
 [5]Z, J Haas and P, Agrawal, "Mobile-TCP: An Asymmetric Transport Protocol Design for Mobile Systems", *Proceedings of IEEE International Conference on Communications(ICC97)* pp.1054-1058, Canada, June 1997.