

IEEE 802.11b 환경에서 저전력 모드(PSM)를 지원하는 저전력 전송 기법 구현

김태현^o 차호정
연세대학교 컴퓨터학과
{thkim,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Implementation of Energy-Aware Transmission Mechanism Supporting PSM mode in IEEE 802.11b Environments

Taehyun Kim^o Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 IEEE 802.11b 무선 환경에서 TCP를 이용한 데이터 전송 시 에이전트를 이용하여 패킷 손실의 원인을 분석, 무선 링크에서 발생한 패킷 손실에 대해서는 혼잡 윈도우 크기를 유지하고, 유선 링크에서 발생한 패킷 손실에 대해서는 지역 재전송을 수행하는 저전력 전송 기법을 제안하고 실제 구현한다. 제안하는 저전력 전송 기법은 전송 후 WNIC를 저전력 모드로 전환 시킴으로써 WNIC 전력 소비를 최소화 한다. 실험 결과 높은 무선 링크 에러율(1~2%)에서 기존 TCP-Reno 보다 약 18% 에너지 감소 효과를 나타냈다.

1. 서론

많은 응용프로그램이 통신을 위해 사용하고 있는 TCP 프로토콜은 송신단과 수신단 사이의 신뢰성 있는 통신을 보장한다. TCP의 신뢰성을 보장하는 특성은 유선 링크의 특성을 기반으로 설계되었으며, 현재 무선 링크에서도 큰 변화없이 이를 그대로 사용하고 있다. 과거 TCP에 관한 연구는 TCP의 성능 향상에만 치우쳐서 이루어져 왔고, 최근 들어 이동기기의 에너지에 관한 중요성이 인식됨에 따라 TCP 및 전송 프로토콜에 관한 에너지 측면에서의 연구가 시작되고 있다. 아직은 수신단 및 특정 응용 프로그램에 한해서 연구가 이루어지고 있으며 향후 대용량의 이미지나 동영상 등을 이동기기를 이용하여 전송하는 무선 서비스를 고려해볼 때 TCP 특성에 따른 송신단에서의 에너지 정책에 관한 연구가 필요한 실정이다. 이러한 전송 프로토콜과 관련된 WNIC 에너지 연구는 다음과 같다.

이동 단말기가 사용하는 응용 프로그램(Web, Email)의 네트워크 특성을 분석하여 Idle 시간을 예측한 후 예측한 시간에 WNIC를 저전력 모드로 변경시키는 방법이 제안되었다[1]. FTP를 사용하는 이동기기에서 서버로부터 데이터를 수신 시 이동기기의 버퍼를 모니터링하여 적절한 임계점을 선정하고 선정된 임계점에 따라 WNIC를 저전력 모드로 전환시킴으로써 이동기기의 에너지 효율성을 높이고자 하였다[2]. 웹 기반 서비스에서 IEEE 802.11에서 지원하는 PSM(Power Saving Mode)이 TCP 프로토콜에 미치는 전송 지연의 문제점을 분석하고 동적 Listen Interval로써 이를 해결하기 위한 방법을 제시하고 있다[3]. 이와 같은 전송 프로토콜에 관한 저전력 정책 및 에너지 모델에 관한 연구들은 다음과 같은 문제점을 가진다.

전송 프로토콜에 관한 많은 기존 연구들은 이동기기를 수동적으로 서비스 받는 입장으로 간주하여 수신단 기반에서 저전력 WNIC 정책만을 제시하였다. WNIC는 전송 상태에서 가장 많은

에너지를 소비하며 이동기기를 이용한 대용량 이미지 전송과 같은 서비스의 증가를 고려해 볼 때, 송신단 기반에서 저전력 전송 프로토콜에 관한 연구가 필요하다.

본 연구는 기존 연구의 문제점을 해결하기 위해 저자의 이전 논문에서 이동 단말기의 데이터 전송 시 전력 소비를 감소시킬 수 있는 저전력 전송 기법을 제안했다[4][5]. 본 논문에서는 이를 기반으로 에이전트를 이용한 저전력 전송 기법을 실제 구현하고 실험하여 성능평가를 수행한다. 제안한 저전력 전송 기법은 전송률을 향상시키고 TCP를 이용한 전송시 전력 소비를 최소화 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안하는 저전력 전송 기법의 시스템 구조 및 동작 방식에 대해 기술하고, 3장에서 실험 방법 및 결과에 대해 기술한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

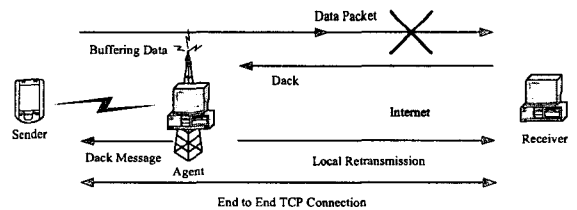


그림 1 : 저전력 전송 기법의 시스템 구조

2. 저전력 전송기법

다음은 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법의 구조 및 동작 과정을 기술한다. 그림 1은 제안하는 저전력 전송 기법의 시스템 구조를 나타낸다. 제안하는 전송 기법은 송신단 기지국에 위치한 에이전트를 이용하여 네트워크를 분리하고 패킷 손실의 원인을 파악하는 기법을 사용한다. 패킷 손실의 원인을 파악하기 위해서는 송신단에서 수신단으로 전송되는 데이터 패킷과 수신단에서 송신

• 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-041-D00475)

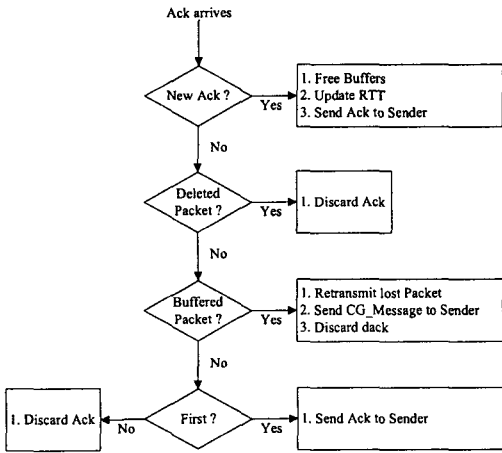


그림 2 : 저전력 전송 기법의 Ack 처리

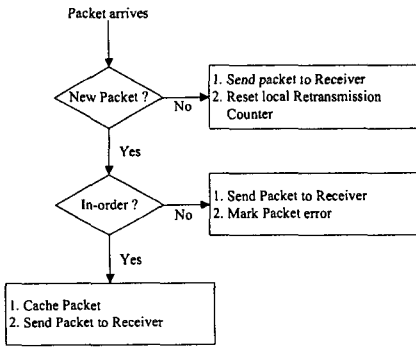


그림 3 : 저전력 전송 기법의 Packet 처리

단으로 전송되는 ACK를 처리하는 에이전트 역할이 중요하다.

그림 2와 3은 에이전트가 데이터 패킷과 ACK를 처리하는 각각의 흐름도를 나타낸다. 에이전트는 송신단에서 전송한 패킷을 임시적으로 버퍼에 저장한 후 해당 패킷의 ACK를 수신단으로부터 수신하면 저장된 패킷을 삭제한다. 에이전트 이후의 링크에서 패킷 손실로 인한 중복 ACK가 발생하면 버퍼에 저장된 패킷을 재전송하여 지역적으로 빠른 복구를 수행한다. 수신한 중복 ACK는 송신단에 전송하지 않고 제거한 후 송신단으로 유선 링크에서 패킷 손실이 발생하였음을 알리는 메시지를 전송한다. 송신단은 이를 수신한 후 패킷 재전송은 수행하지 않고, 혼잡제어만을 수행함으로써 유선 링크에서 발생한 패킷 손실에 대한 혼잡 처리만을 수행하게 된다.

다음은 유선 링크에서 패킷 손실이 발생했을 때 제안하는 저전력 전송 기법의 동작과정을 설명한다. 기존 TCP와는 다르게 지역 재전송을 수행함으로써 전송률을 향상시키고 혼잡 메시지를 통해 혼잡 상황에 대처한다. 지역 재전송의 영향으로 데이터 전송후 송신단의 WNIC를 저전력 모드로 전환할 수 있으며, WNIC 에너지 소

비를 최소화 할 수 있다. TCP에서는 송신단이 중복 ACK를 수신하게 되면 패킷 손실이 발생한 것으로 가정하고 혼잡 윈도우 크기를 반으로 감소시킨 후 해당 패킷을 재전송하게 된다. 저전력 전송 기법에서 이동기기는 중복 ACK를 수신하게 되면 혼잡 윈도우 크기를 감소하지 않는다. 유선 링크에서 패킷 손실이 발생하여 생성된 중복 ACK는 에이전트에서 지역 재전송으로 모두 처리해주고 수신한 중복 ACK는 삭제된다. 제안하는 저전력 전송 기법에서 이동기기가 중복 ACK를 수신하였다는 것은 무선 링크에서 패킷 손실이 발생하였다는 것을 의미한다. 에이전트는 무선 링크에서 손실된 패킷을 저장하고 있지 않기 때문에 수신단이 송신단으로 전송한 중복 ACK에 대해 지역 재전송을 수행하지 못하고 송신단으로 중복 ACK를 전송하는 기능만을 한다. 송신단은 중복 ACK를 수신한 후 무선 링크에서 패킷 손실이 발생한 것으로 여겨 혼잡 윈도우 크기를 유지한다.

제안하는 저전력 전송 기법의 혼잡 윈도우 메커니즘은 다음과 같다. 무선 링크에서 패킷 손실이 발생했을 경우 중복 ACK로 패킷의 원인을 파악해 혼잡 윈도우 크기를 유지 시켜줌으로써 성능을 감소하지 않음을 알 수 있다. 이는 WNIC의 사용시간을 감소시키고 단위 시간 동안 전송되는 데이터의 양을 기존 TCP보다 증가시킬 수 있다. 따라서, 전송 중 WNIC의 Idle 상태를 감소시키고 전송 후 이동기기의 WNIC를 저전력 모드로 전환함으로써 WNIC의 에너지 소비를 최소화 할 수 있다.

3. 성능 분석

본 논문은 제안하는 저전력 전송 기법(이하 LP)의 성능 분석을 위해 IEEE 802.11b 환경에서 Linux kernel 2.4.24을 이용하여 제안된 LP를 실제 구현하고 성능 평가한다. LP의 구현은 크게 에이전트와 이동기기 두 부분으로 나뉜다. 에이전트의 기능은 [6]에서 구현한 Linux기반의 Snoop 프로토콜을 수정하여 본 논문에서 제안한 LP의 에이전트 기능을 구현하였다. 또한 Kernel 2.4.24에 기반하여 이동기기의 TCP 기능을 수정하여 본 논문에서 제안한 LP를 구현하였다.

실험은 IBM Thinkpad T22 Laptop과 Compaq Prezario 1700 노트북을 사용하였으며 리눅스 커널 2.4.24를 기반으로 Cisco Aironet PCM 352 802.11b WNIC를 사용하였다. PCCextend 100 16-bit extender Card와 Fluke 123 Industrial Scope 을 이용하여 본 논문에서 제안된 LP와 TCP-Reno를 비교 평가한다. 이동기기에서 FTP를 사용하여 5MBytes의 데이터를 서버에 전송한 후 이동기기의 WNIC에서 소비되는 에너지를 측정하고 혼잡 윈도우 크기를 비교함으로써 기존 TCP-Reno보다 뛰어난 성능을 나타냄을 보인다. 무선 환경에서 에너지를 높이기 위해 무선 신호가 약한 지점을 선택해 규칙적으로 무선 신호가 끊어짐과 연결이 반복될 수 있는 환경을 만들었다. 실험은 본 논문에서 제안한 LP와 TCP-Reno 각각 50 번씩 수행하였으며 혼잡 윈도우와 에너지는 평균 값에 근접한 경우를 보이고, 전체 성능 평가는 최고 값과 최저 값을 제외한 나머지 실험의 평균값을 취했다.

그림 4는 무선 링크에서 패킷 손실이 발생하였을 경우 제안된 LP와 TCP-Reno 각각의 혼잡 윈도우 크기를 측정하는 것이다. LP는 무

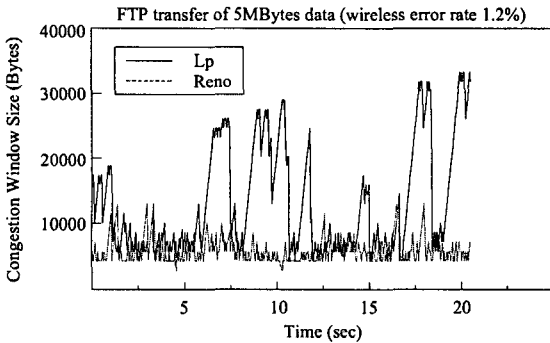


그림 4 : 혼잡 윈도우 크기 측정

선 링크에서 발생한 패킷 손실로 송신단이 중복 ACK를 수신할 경우 에이전트를 이용하여 패킷 손실이 무선 링크에서 발생한 것을 알 수 있다. 송신단은 무선 링크에서 발생한 패킷 에러에 의한 패킷 손실시 중복 ACK를 수신하면 혼잡에 의한 패킷 손실이 아니라고 판단하고 혼잡 윈도우 크기를 유지한다. 유선 링크에서 혼잡에 의한 패킷 손실시 에이전트에서 저장된 패킷을 재전송 하고 수신된 중복 ACK는 삭제하기 때문에 송신단에서 수신되는 중복 ACK는 모두 무선 링크에서 발생한 패킷 손실로 가정할 수 있다. 기존 TCP-Reno를 사용할 경우 송신단은 무선 링크에서 패킷 손실이 발생할 경우 패킷 손실의 원인을 구분할 수 없으므로 혼잡에 의한 손실이라고 판단하고 패킷 손실이 발생할 때마다 수시로 혼잡 윈도우 크기를 감소시킴을 알 수 있다. LP는 기존 TCP-Reno 와는 다르게 혼잡에 의한 패킷 손실이 아닐 경우 혼잡 윈도우의 크기를 유지시켜 단위 시간당 전송 데이터의 양을 감소시키지 않는 것을 알 수 있다. LP는 데이터 전송 시 패킷 간의 전송 간격을 감소시켜 WNIC의 Idle한 상태를 감소시키게 되고, 이는 WNIC의 사용 시간을 감소시키는데 영향을 미치게 된다.

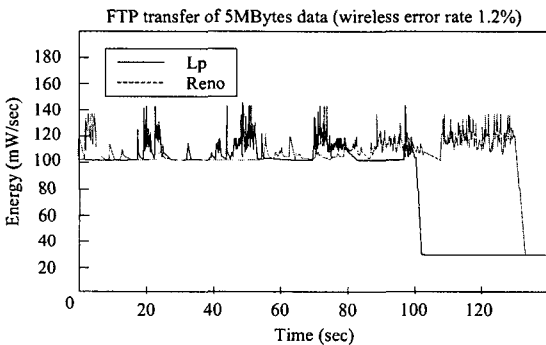


그림 5 : 무선 링크 에러에 따른 WNIC 에너지 소비 측정

그림 5는 무선 링크에서 패킷 손실이 발생할 경우 WNIC의 소비 에너지를 나타낸 것이다. 무선 링크에서 패킷 손실이 발생하였을 경우 LP는 수신한 중복 ACK로 패킷 손실이 무선 링크에서 발생한 것을 알 수 있어 혼잡 윈도우를 유지한다. 이는 단위 시간 동안 전송 하는 데이터 양을 감소하지 않으며 기존 TCP-Reno에 비해 전체적

인 전송 시간의 감소를 가져와 데이터 전송 후 WNIC를 빠르게 저전력 모드로 전환 시킬 수 있다. 저전력 모드로 전환된 WNIC는 오랫동안 저전력 모드에서 대기함으로써 에너지 소비를 최소화 하는 효과를 가질 수 있다. TCP-Reno는 패킷 손실의 원인을 알 수 없으므로 무선 링크에서 패킷 손실 발생시 혼잡 윈도우 크기를 감소시키게 되고 이는 단위 시간 동안 전송되는 데이터 양을 감소시켜 이동기기의 전체적인 데이터 전송 시간을 증가시키게 된다. WNIC는 오랜 시간 동안 전송 상태에 있게 되고 데이터 전송 시 WNIC Idle 상태를 분산시키게 되어 WNIC는 저전력 모드로 상태 전환할 수 있는 시간적 기회를 가질 수 없게 된다. 이는 WNIC의 에너지 소비를 효율적으로 감소시킬 수 있는 메커니즘을 적용할 수 없는 주요 원인이 된다. 무선 링크의 에러율이 1~2%인 환경에서 본 논문에서 제안한 LP를 적용할 경우 TCP-Reno보다 전송률은 약 24% 에너지는 약 18%의 성능 향상을 가져왔다.

4. 결론

본 논문은 기존 TCP의 성능 향상에만 치우친 연구에서 벗어나 TCP의 특성과 이동기기의 WNIC의 에너지 소비를 분석하고 이동기기의 성능과 에너지의 효율성을 향상 시킬 수 있는 저전력 전송 기법을 제안하였다. 제안하는 저전력 전송 기법은 이동기기의 수정과 송신단 기저국에 링크 계층 위에서 동작하는 에이전트를 추가한다. 이는 End-to-End 구조를 유지하면서 전송률과 에너지 면에서 성능 향상을 가져온다. 제안된 저전력 전송 기법은 무선 링크에서 패킷 손실이 발생하였을 경우 혼잡 윈도우 크기를 유지함으로써 전송률의 향상을 가져오고, 유선 링크에서 패킷 손실이 발생할 경우 지역 재전송을 수행하여 혼잡에 대한 처리가 가능하다. 이는 이동기기의 데이터 전송 후 WNIC를 저전력 모드로 빠르게 전환시키고 WNIC의 상태를 오랫동안 저전력 모드로 대기하게 하여 에너지 소비를 최소화한다.

향후 과제로는 전송뿐만 아니라 데이터를 수신할 때에도 전송률 및 에너지 면에서 효율적인 성능을 나타낼 수 있는 저전력 통신 기법과 TCP 및 UDP에 관한 에너지 모델을 연구한다.

참고문헌

- [1]R. Kravets and P. Krishnan, "Application-Driven Power Management for Mobile Communication," *Wireless Networks*, vol. 6, no. 4, pp. 263-277, July 2000.
- [2]D. Bertozzi, A. Raghunathan, L. Benini, S. Ravi, "Transport Protocol Optimization For Energy Efficient Wireless Embedded Systems," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, March 2003.
- [3]R. Krashinsky and H. Balakrishnan, "Minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slowdown," *Proceedings of ACM MOBICOM*, Atlanta, Georgia, pp. 119-130, September 2002.
- [4]김태현, 차호정, "무선 TCP 환경에서 재전송 제어를 통한 저전력 전송 기법," 한국정보과학회 2003년 추계학술발표대회 논문집, 2003년 10월.
- [5]김태현, 차호정, "무선 환경에서 재전송 및 혼잡 제어에 기반한 저전력 전송 기법," 한국정보과학회 2004년 춘계학술발표대회 논문집, 2004년 4월.
- [6]The Snoop Protocol Implementation on Linux, <http://cir.nus.edu.sg/research/software/snoop/snoop.html>.