

# 무선 환경에서 재전송 및 혼잡 제어에 기반한 저전력 전송 기법

김태현<sup>○</sup> 차호정  
연세대학교 컴퓨터과학과  
{thkim,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

## A Power-Aware Transmission Mechanism based on the Retransmission and Congestion Control in Wireless Networks

Taehyun Kim<sup>○</sup> Hojung Cha  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

본 논문은 유무선 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 제안한다. 제안하는 저전력 전송 기법은 전송 후 WNIC를 저전력 모드로 전환 시킴으로써 WNIC 전력 소비를 최소화 한다. NS2 시뮬레이션 결과 기존 TCP 보다 무선 링크에서 에러 발생시 67-177(%) 성능 향상과 22-44(%) 에너지 감소 효과를 보였고, 유선 링크에서 에러 발생시 3-22(%)의 성능 향상과 2-13(%) 에너지 감소 효과를 나타냈다.

### 1. 서론

이동기기의 WNIC(Wireless Network Interface Card)는 CPU 및 LCD와 더불어 시스템의 에너지를 많이 소비하는 장치이다. WNIC의 에너지 소비를 줄이기 위한 많은 연구가 진행 중이며, 에너지 소비의 중요성을 인식하여 현재 WNIC는 다양한 전력 모드(Transmit, Receive, Idle, Sleep)를 지원하도록 설계되어 있다. WNIC의 에너지 소비를 감소시키기 위해서는 적절한 전력 모드로 전환하기 위해 Idle 시간을 구분할 수 있는 에너지 관리 정책이 필요하다. 또한, WNIC의 에너지 소비를 최소화하기 위해서 네트워크 프로토콜 역시 효율적으로 WNIC의 다양한 전력 모드를 이용할 수 있도록 설계되어야 한다.

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. 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 단말기간의 데이터 전송 시 전력 소비를 감소시킬 수 있는 저전력 전송 기법을 제안했다[4]. 본 논문에서는 이를 기반으로 이동기기에서 무선 단말기뿐만 아니라 유선 호스트에도 적용할 수 있는 저전력 전송 기법을 제안한다. 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.

### 2. 저전력 전송 기법

다음은 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법의 구조 및 동작 과정을 기술한다. 제안하는 저전력 전송 기법은 송신단 기저국에 위치한 에이전트를 이용하여 네트워크를 분리하고 패킷 손실의 원인을 파악하는 기법을 사용한다. 패킷 손실의 원인을 파악하기 위해서는 송신단에서 수신단으로 전송되는 데이터 패킷과 수신단에서 송신단으로 전송되는 ACK를 처리하는 에이전트 역할이 중요하다. 에이전트가 데이터 패킷과 ACK를 처리하는 각각의 방법을 살펴보면 다음과 같다.

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 ICMP를 이용하여 전송한다. 송신단은 이를 수신한 후 패킷 재전송은 수행하지 않고, 혼잡제어만을 수행함으로써

• 본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 선도연구지원사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2003-041-D00475).

유선 링크에서 발생한 패킷 손실에 대한 혼잡 처리만을 수행하게 된다.

그림 2는 유선 링크에서 패킷 손실이 발생했을 때 동작과정을 보여준다. 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 소비를 최소화 할 수 있다.

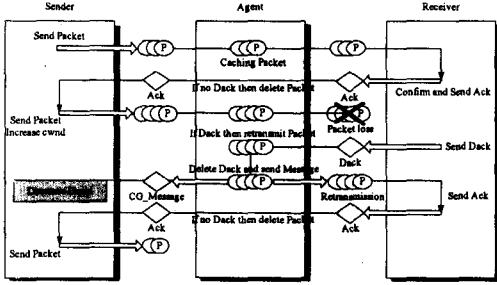


그림 2: 유선 링크 패킷 에러 처리 방식

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.

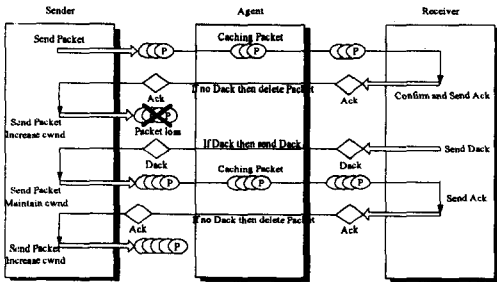


그림 3: 무선 링크 패킷 에러 처리 방식

그림 3은 제안하는 저전력 전송 기법의 혼잡 윈도우 메커니즘을 보여준다. 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 전

송 후 이동기기의 WNIC를 저전력 모드로 전환함으로써 WNIC의 에너지 소비를 최소화할 수 있다.

### 3. 성능 평가

다음은 제안하는 저전력 전송기법의 성능 분석을 위해 IEEE 802.11b 환경에서 TCP와 WNIC의 에너지 소비 관계를 분석하고 에너지 모델로 제시한다. 제시한 에너지 모델과 NS2 시뮬레이션을 사용하여 저전력 전송 기법의 성능 및 에너지 효율성을 검증한다.

#### 3.1 IEEE 802.11b WNIC 에너지 모델

본 논문은 실험을 통하여 TCP 환경에서 IEEE 802.11b WNIC 에너지 소비는 단위 시간(1 Sec) 동안 전송되는 데이터 양에 비례함을 밝히고 전송률에 따라 WNIC가 소비하는 에너지를 분석하여 전송률에 관한 에너지 모델을 제시한다. 본 논문은 이동기기의 WNIC 에너지 소비는 전송률에 비례한다는 전제하에 다음과 같이 전송률에 관한 일차 방정식으로 WNIC 에너지 모델을 제시한다.

$$E = (m * throughput) + base\_energy \quad (1)$$

E는 1초동안 소비되는 WNIC의 에너지를 의미한다. 에너지는 1초 동안 전송되는 평균 바이트수에 비례하여 전송률 throughput에 관한 식으로 나타낼 수 있다. 이에 관한 파라미터로 m은 패킷 전송시 설정되는 WNIC의 계수, throughput은 1초동안 전송되는 평균 KBytes 양을 의미한다. base\_energy는 throughput과 상관없이 항상 WNIC에서 소비되는 에너지를 나타낸다. 실험은 IBM Thinkpad T22 Laptop과 일반 데스크탑을 이용하였으며 두 호스트 사이에 AP를 사용하여 유선 링크(100Mbit)와 무선 링크(11Mbit)로 분리하여 실험하였다. 이동기기는 리눅스 커널 2.4.22을 기반으로 Cisco Aironet PCM 352 802.11b WNIC를 사용하였고, PCCextend 100 16-bit extender Card와 Fruke 123 Industrial Scope을 이용하여 에너지를 측정하였다. 전송률 1~6(MBytes/sec)로 나누어 수신단에서 전송률을 조절했다. 송신단에서 TCP를 이용한 FTP로 5MBytes의 데이터 전송시 1초동안 소비되는 WNIC의 평균 에너지를 측정하였다. 그림 4는 전송률에 따라 WNIC에서 1초 동안 소비되는 평균 에너지를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

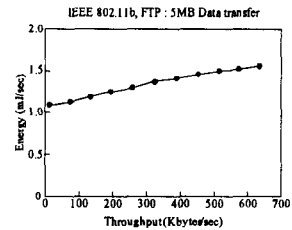


그림 4: 전송률과 WNIC 에너지 소비 관계

본 논문은 실험결과 값을 근거로 식 1의 m 값과 base energy 값을 산출하였다. 이 값을 이용하여 전송률에 비례하는 에너지 모델을 다음과 같이 제시한다.

$$E = (7.73739e-4 * throughput(Kbytes/sec)) + 1.08463 \quad (2)$$

제안한 WNIC 에너지 모델을 이용하여 계산한 값과 실제 WNIC의 에너지 소비를 측정 한 측정치의 오차는 3% 미만으로, 제안된 에너지 모델은 시뮬레이션 시 실제 값과 근사한 WNIC 에너지 소비를 나타낸다.

### 3.2 저전력 전송 기법 분석

실험은 Linux Kernel 2.4.20에서 NS2 2.26을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 저전력 전송 기법(이하 PA)이 올바르게 동작하는지 검증하기 위해 무선 링크 및 유선 링크에서 발생한 패킷 손실로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 전송 데이터 크기는 5Mbytes, 패킷 크기는 1448Bytes를 사용하였으며 실제와 유사한 환경을 위해 무선링크에서의 전송 지연은 20ms, 유선 링크에서의 전송 지연은 10ms로 설정하였다. 제안된 에너지 모델을 사용하기 위해 IEEE 802.11b를 기반으로 실험 환경을 설정 하였다. 무선 링크에서의 전송 속도는 11Mb/sec, 유선 링크에서의 전송 속도는 100Mb/sec로 설정하였으며, 무선 링크와 유선 링크에서 패킷 손실에 따른 전송률과 에너지를 TCP-Reno와 본 논문에서 제안하는 저전력 전송 기법을 사용하여 측정하였다. 시뮬레이션에 적용할 에너지 모델은 제안된 에너지 모델 식 2를 사용하였다.

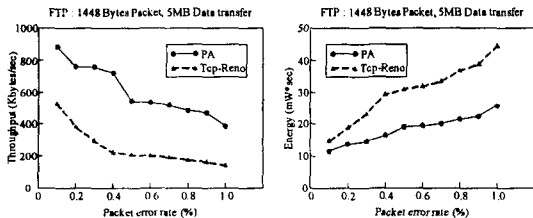


그림 5: 무선 링크 에러에 따른 전송률과 에너지 측정

그림 5는 무선 링크에서 패킷 손실이 발생할 경우 패킷 에러율에 따른 전송률과 WNIC의 소비 에너지를 나타낸 것이다. 무선 링크에서 패킷 손실이 발생하였을 경우 저전력 전송 기법은 수신한 중복 ACK로 패킷 손실이 무선 링크에서 발생한 것을 알 수 있어 혼잡 윈도우를 유지한다. 이는 단위 시간 동안 전송하는 데이터 양을 감소하지 않으며 기존 TCP-Reno에 비해 전체적인 전송 시간의 감소를 가져와 데이터 전송 후 WNIC를 빠르게 저전력 모드로 전환시킬 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 발생 시 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. 저전력 전송 기법을 적용할 경우 TCP-Reno보다 전송률은 67~177% 에너지

는 22~44%의 성능 향상을 가져왔다.

그림 6은 에이전트에서 수행되는 패킷 재전송의 영향으로 전송률과 에너지면에서 저전력 전송 기법이 TCP-Reno에 비해 향상된 성능을 가진다는 것을 보여준다. 유선 링크에서 혼잡이 발생할 경우 에이전트는 송신단에 혼잡 메시지를 전송함으로써 혼잡 손실에 의한 적절한 대응을 송신단에서 수행하도록 유도한다. TCP-Reno에 비해 빠른 지역 재전송의 영향으로 전송률은 3~22% 향상됨을 알 수 있고, 빠른 데이터 전송은 WNIC의 저전력 모드로의 전환과 오랜 시간 동안 저전력 모드에서 유지할 수 있게 함으로써 에너지 소비 또한 2~13% 감소시킬 수 있었다.

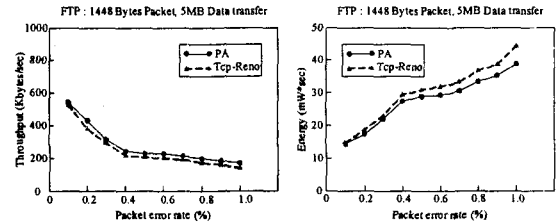


그림 6: 유선 링크 에러에 따른 전송률과 에너지 측정

### 4. 결론

본문에서 제안한 저전력 전송 기법은 이동기기의 단말기와 기지국의 변경만으로 전송률과 에너지 모두 성능 향상을 이루었다. 기존 연구들은 에너지 소비를 최소화 하기 위해 성능적인 부분의 부분적인 감소를 동반한 것에 반해 본 논문은 에너지의 효율성을 높이면서 성능 역시 증가시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 저전력 전송 기법을 이용함으로써 낮은 에너지 소비를 유지하면서 높은 성능을 나타내는 이동기기의 데이터 전송 서비스 이용이 가능하다. 또한, 본 논문에서 제안한 에너지 모델은 기존에 일반적으로 정해진 값만을 사용한 기존 연구들에 비해 정확한 성능 분석을 할 수 있는 환경을 마련하였다. 제안된 에너지 모델은 저전력 TCP 프로토콜을 위한 연구 시 시뮬레이션에 적용할 수 있으며 오차 3% 미만으로 실제 측정되는 WNIC와 근사한 값을 제시함으로써 실제와 같은 정확한 성능 분석을 위해 사용될 수 있다.

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 추계 학술발표대회 논문집, 2003년 10월.