

네트워크 사용 경향성을 활용한 스마트폰 네트워크 에너지 최적화 기법

김예성^o 송욱 김지홍
서울대학교 컴퓨터공학부

A Smartphone Network Energy Optimization Technique Using Personalized Network Usage Behavior

Yeseong Kim^o, Wook Song, Jihong Kim
Seoul National University

요 약

스마트폰은 배터리를 사용하는 기기이기 때문에 전력 최적화가 매우 중요한 사안이다. 특별히, 많은 에너지가 소모되는 3G 네트워크 인터페이스에서, 불필요하게 대기하며 발생하는 Tail 에너지를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 기존의 연구들은 사용자와 응용의 특성을 고려하지 않고 전송 예측 방법에 대해서도 논하고 있지 않아 실제 시스템에 적용하는데 한계가 존재한다. 본 논문에서는, 국내 망 환경에서 적용 가능한 3G 모델을 통해 사용자의 응용 별 사용 경향성을 파악하고, 응용 별로 서로 다른 Tail 지속 시간을 선택하여 에너지를 최적화 할 수 있는 방법을 제시한다. 본 기법을 적용하였을 때, 10%의 지연 증가를 준수하며, 평균 34%의 네트워크 에너지를 줄일 수 있었다.

1. 서 론

스마트폰은 일반 사용자에게까지 널리 보급되며 최근 새로운 생활 환경의 핵심 장치로 부상하고 있다. 이러한 모바일 장치는 이동성을 위해 전력원으로 배터리를 사용하기 때문에, 효율적인 배터리 관리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 맥락에서 디스플레이 장치 다음으로 약 30%의 많은 전력이 소모되는 네트워크 장치에 대한 전력 연구가 매우 시급한 실정이다[1].

특별히, 3G나 4G가 소모하는 전력이 Wifi에 비해 크기 때문에, 이러한 라디오 환경이 소모하는 전력의 특성을 밝히고 이를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이를 통해 3G 네트워크 장치에서 소모하는 대부분의 전력은 데이터 전송 때문에 발생하는 것이 아니라, 접속 지연을 감소시키기 위하여 다음 전송을 기다리는 구간인 Tail에서 소모된다는 것이 밝혀졌다[2]. 이런 문제를 해결하기 위하여 TailEnd[3]나, TOP[4]와 같은 연구가 진행되었으나, 어떠한 전송들은 미룰 수 있다는 가정을 하거나, 응용이 직접 힌트를 주어야 한다는 전제를 하고 있다. 따라서, 사용자가 사용하는 다양한 응용들에 대해, 어떤 방식으로 관리해야 접속 지연 증가를 막으면서 에너지 이득을 얻을 수 있는지에 대한 직관이나 기법을 제공해주지 못하므로, 실제 시스템에 직접 적용하는 데는 한계가 있다.

본 논문에서는 3G 네트워크 전송의 경향성을 응용 별로 분석하여 각 응용에 대하여 유지해야 할 최적의 Tail 지속 시간을 결정하고 에너지를 줄일 수 있는 새로운 최적화 기법을 제안한다. 여기서는 실측된 자료를 바탕으로 국내 망 환경에서 적용 가능한 3G 네트워크의 에너지 모델과 응용 별 에너지 분석 방법에 대하여 제시한다. 이를 통해, 같은 응용이라 할지라도 각 사용자

별로 획득 가능한 에너지 이득과 최적화를 위한 Tail 지속 시간이 서로 다르다는 것을 밝힌다. 더불어, 사용자 별 전송 정보를 통해 지연과 에너지 간의 교환 모델을 구성하고, 주어진 조건하에서 최적의 Tail 지속 시간을 선택하여 에너지 소모를 줄이는 최적화 기법을 제안한다. 실험 결과, 제안하는 기법을 사용했을 때 지연 증가 비율을 10%로 유지하면서 평균 34%의 네트워크 에너지 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구의 배경 지식과 관련 연구의 한계에 대해 살펴보고, 3장에서는 실측한 자료를 바탕으로 사용자의 응용 별 네트워크 사용 경향성을 분석하며, 지연 증가를 허용할 임계 값을 준수하면서 Tail 지속 시간을 선택하는 에너지 최적화 기법을 제안한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구에 대하여 논의한다.

2. 배경 지식

3G 네트워크 인터페이스가 소모하는 에너지는, 전송이 일어날 때보다 전송이 일어난 후의 대기 지속 시간에 크게 좌우된다. 그림 1은, 서울시에서 측정한 3G 네트워크 인터페이스가 소모하는 전류와 그 때 전송된 패킷을 나타낸다. 이 그래프에서 전송이 발생하는 시점에 약 210mA의 전력이 소모되었다가, 약 100mA의 전력 상태를 거쳐, 전력 소모가 없어지는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 가장 큰 전력 소모 상태를 DCH, 중간 소모 상태를 FACH, 소모가 없는 상태를 IDLE이라고 부른다. 이는 네트워크 접속을 위해 IDLE에서 DCH 상태로 전이할 때 몇 초의 지연과 네트워크 망의 부하가 발생하기 때문에, 다른 전송이 곧 발생하는 경우를 위해

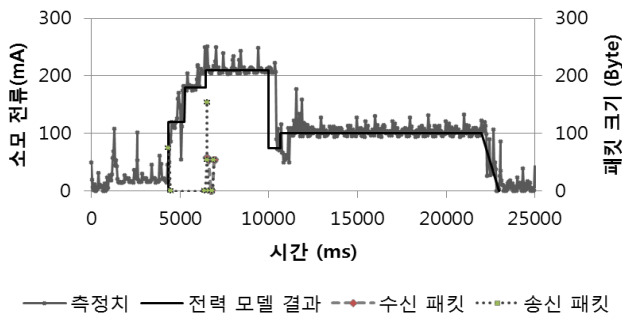


그림 1. 3G 네트워크 장치의 소모 전류

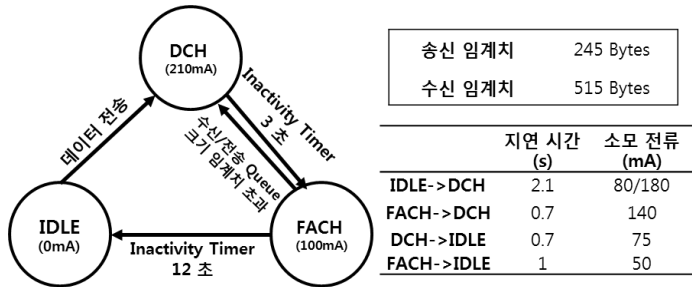


그림 2. 서울시 3G 네트워크 전력 모델

일정한 시간을 DCH, FACH를 거쳐 대기하여 발생하는 현상이다. 이 지속 구간을 Tail이라고 부르며, 이 지속 시간은 단말과 연결된 RNC라고 부르는 무선망 서버의 Inactivity Timer에 의하여 제어된다[2]. 이로 인해 많은 네트워크 에너지가 낭비되게 되는 것으로 알려져 있으며 [1], 직접 분석한 결과에서도 평균 50% 가량의 네트워크 에너지가 Tail로 인해 소비되는 것을 확인하였다. 더불어 4G에서도 비슷한 특징이 있는 것으로 알려져 있다[4].

Tail 에너지를 줄이기 위해 제안된 주요 연구로는 TailEnd[3]가 있다. 이 연구에서는 전자 메일 송신과 같은 전송은 미룰 수 있다고 가정하고, 이런 패킷들을 이후에 발생하는 다른 패킷과 함께 모아 나중에 보내서, Tail의 횟수를 줄이는 기법을 제안하였다. 또 다른 주요 접근 방법으로는 TOP[4]가 있다. 최근 3GPP에서는 Fast dormancy[5]라는 새로운 표준 프로토콜이 제안되었는데, 단말 장치가 직접 요청함으로써 Tail을 바로 중단할 수 있게 해준다. TOP에서는 각 응용이 다음 전송이 언제 일어날지에 대한 힌트를 준다는 가정하에, 이를 취합하여 다음 전송이 일어나지 않는다고 판단될 때 Fast Dormancy를 이용해서 에너지를 줄이는 기법을 제안하였다. 그러나, 해당 연구들에서는 예측 방법이나 Tail 지속 시간을 얼마나 조절해야 하는지에 대해 논하지 않고 있고, 사용자나 응용의 네트워크 전송 특성에 대해 고려 없이 각 가정이 성립할 때의 방법론만을 제시하고 있어, 현 시스템에 적용하는 데는 한계가 있다.

3. 네트워크 사용 경향성을 활용한 에너지 최적화 기법

3.1 전력 모델 및 네트워크 사용 경향성 분석

안드로이드 참조 폰인 Nexus S에 3.7V 고정 전압을 준 상태에서 소모하는 전류를 Agilent 34410A를 이용하여 측정하여, 서울에서의 3G 네트워크 인터페이스 전력

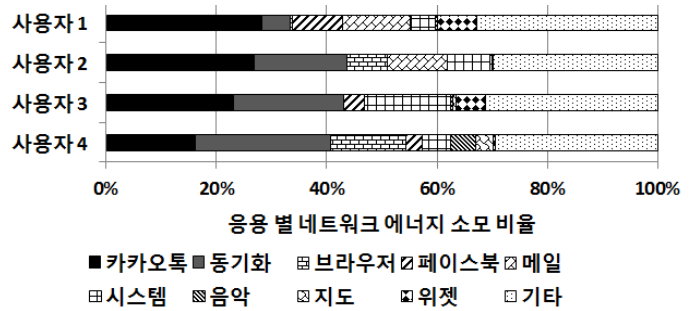


그림 3. 응용 별 3G 네트워크 에너지 소모 비율

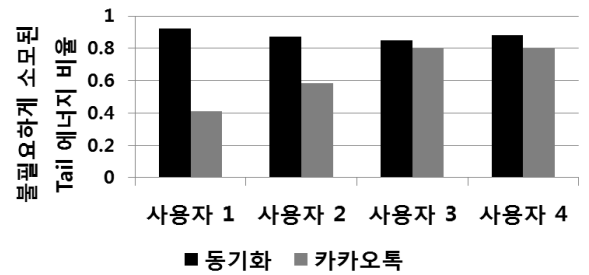


그림 4. 불필요하게 소모된 Tail 에너지 비율

모델을 그림 2와 같이 구성하였다. 본 모델은 실측치와 비교하여 평균 20mA 내의 오차 안에서 동작하였다.

다음으로 사용 경향성 분석을 위해, proc 파일들을 이용하여 각 응용 별로 사용한 패킷 전송 내역에 대해 실시간으로 수집한 후, 전력 모델을 이용하여 응용들이 네트워크에서 소모한 전력을 계산하였다. 이 실험은 스마트폰을 자주 사용하는 20대 남녀 Nexus S 사용자를 대상으로 일주일간 진행되었다. 그림 3은 각 사용자의 단말에서 각 응용이 소모한 3G 네트워크 에너지의 비율을 나타낸다. 이 결과는 사용자 별로 네트워크를 주도적으로 사용하는 응용 구성이 다르다는 것을 보여준다. 그림 4는 동기화와 카카오톡 응용의 네트워크 에너지 소모 중, 불필요하게 Tail에서 낭비되는 에너지의 비율을 분석한 결과이다. 불필요하게 Tail에서 낭비되는 에너지는 Tail 구간 동안 다른 전송이 발생하지 않는 경우에 소모된 에너지로 정의하였다. 동기화 응용은 Tail이 낭비되는 경향성이 강하므로, Tail에서 소모되는 시간을 짧게 유지하는 것이 좋다고 할 수 있는 반면, 카카오톡은 사용자 별로 그 경향성이 다르므로, 각 사용자와 응용 별로 Tail 지속 시간을 다르게 조절해야 최적의 에너지 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

3.2 최적의 Tail 지속 시간 선택을 통한 에너지 최적화

한 사용자의 어떤 응용에 대한 이전의 전송 내역이 주어졌을 때, 위에서 구성한 전력 모델을 기반으로 Tail 지속 시간의 대부분을 차지하는 FACH Inactivity Timer를 기존 설정 값부터 0초까지 줄여가면, 그에 따라 변화하는 에너지와 IDLE에서 DCH상태로 전이했을 때의 지연 또한 함께 구할 수 있다. 이를 기존 설정의 Tail 지속 시간을 사용했을 때와 비교하면, 어떤 Tail 지속 시간을 이용했을 때 얻을 수 있는 에너지 이득과 지연 손해 각각의 비율을 계산할 수 있다. Tail 지속 시간은 연속적으로

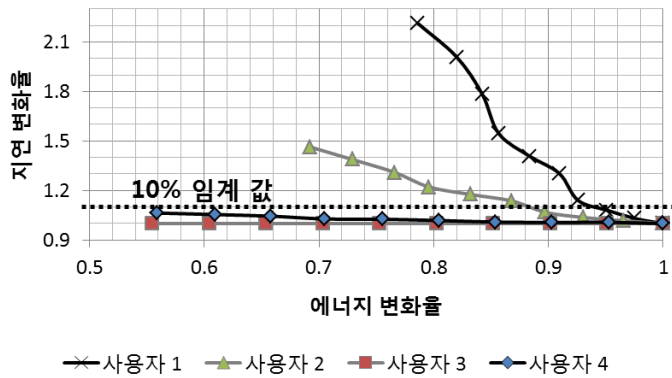


그림 5. 사용자 별 카카오톡의 지연/에너지 교환 모델

변화하므로, 지연과 에너지 간의 연속적인 교환 모델을 얻을 수 있다.

여기에 지연 증가를 허용할 임계 값이 주어지면, 최적의 Tail 지속 시간을 계산할 수 있다. Tail 지속 시간을 줄이면 소모 에너지가 줄어드는 대신 지연은 증가하는 관계가 있으므로, 지연이 주어진 임계 값을 넘지 않으면서 최대의 에너지 이득을 얻을 수 있는 지점의 Tail 지속 시간을 교환 모델에서 선택한다.

그림 5는 카카오톡에 대해 구정한 사용자 각각의 교환 모델을 나타낸다. X, Y축은 에너지 이득과 지연의 손해 비율이고, 각 점은 12초부터 3초까지 Tail을 줄였을 때를 오른쪽부터 나타낸다. 지연 증가를 허용할 임계 값이 10%로 주어졌을 때, 사용자 3과 4는 Tail 지속 시간을 3초 이하로 적용할 수 있으며, 사용자 1은 9.8초, 사용자 2는 8.5초가 최적의 Tail 지속 시간 값을 알 수 있다. 동기화 응용에 대하여 동일한 실험을 하였을 때, 사용자 모두 3초 이하의 시간이 최적의 값을 알 수 있었다.

사용자의 단말 상에서 응용 별로 이 교환 모델을 계속 갱신하면서, 계산된 Tail 지속 시간을 넘었을 때 Fast Dormancy를 사용하여 에너지 이득을 취할 수 있다. 서로 다른 응용에 의해 동시에 전송이 일어났을 때의 처리는 본 논문에서 논의하고자 하는 범위를 넘으므로 다루지 않으나, [5]에서 이에 대한 해법을 제시한바 있다.

4. 실험 결과

기본적인 구현 및 실험 환경은 3.1에서 밝힌 바와 같다. 일주일 동안 Nexus S에서 전송 내역을 수집하면서 응용 별로 Tail 지속 시간을 계산하고 적용하도록 안드로이드 플랫폼을 수정하였다. 계산 부하는 응용 별로 평균 10ms 미만으로 시스템에 영향을 주지 않았다. Fast Dormancy가 표준 프로토콜이나 아직까지는 단말 상에서 직접 사용할 방법이 없으므로, 전력 모델에 Fast Dormancy 동작을 추가하여 시뮬레이션 하였다.

그림 6은 제안한 기법을 이용하여, 10%를 지연 증가를 허용할 임계 값으로 하였을 때, 각 사용자 별 네트워크 에너지 감소 비율과 지연 증가 비율을 나타낸다. 평균적으로 지연을 단지 7% 증가시키면서 34%의 네트워크 에너지에 대한 이득을 얻을 수 있었으며, 최대 40% 이상 에너지 이득을 얻은 사용자도 있었다.

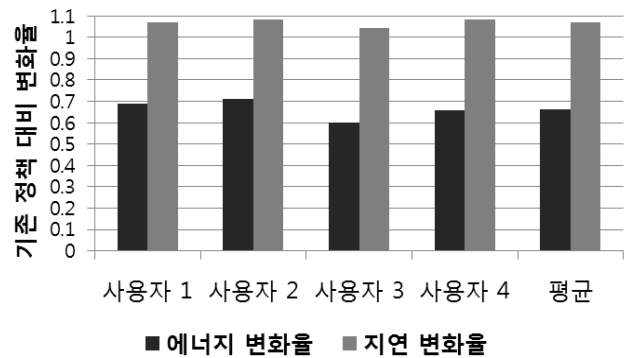


그림 6. 에너지와 지연 변화율 비교

5. 결론

기존의 Tail 에너지 최적화 기법은 응용의 전송 특성을 구분할 수 있다고 가정하거나, 예측할 수 있는 방법이 있다는 가정하에 연구가 진행되었다. 따라서 사용자와 응용의 특성에 대한 고려 없이 실 시스템에 적용은 어렵다는 한계를 지니고 있었다.

본 논문에서는 실제 사용자의 응용에 대하여 네트워크 사용 특성을 분석하고, 사용자 별로 서로 다른 경향성을 가짐을 확인하였다. 또한, 분석된 경향성을 활용하여, 허용 가능한 지연 임계 값을 넘지 않는 최적의 Tail 지속 시간을 계산하고, 이를 통해 에너지 최적화를 할 수 있었다. 앞으로 본 논문의 접근 방법을 확장하여, 응용 내부의 전송 상태 관찰을 통해 Tail 지속 시간을 한 응용에 대해서도 가변적으로 조절하는 최적화 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터 연구소에 감사드립니다. 본 논문은 BK21사업에 의하여 지원되었으며, 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학 재단의 지원을 받아(No.2011-0020514, R33-2008-000-10095-0) 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Pathak, Y. Charlie Hu, M. Zhang, P. Bahl, and Y. Wang., "Fine-grained power modeling for smartphones using system call tracing," In EuroSys, pp. 153-168, 2011.
- [2] F. Qian, Z. Wang, A. Gerber, Z.M. Mao, S. Sen, and O. Spatscheck., "Characterizing radio resource allocation for 3G networks," In IMC, pp. 137-150, 2010.
- [3] N. Balasubramanian, A. Balasubramanian, and A. Venkataramani., "Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications," In IMC, pp. 280-293, 2009.
- [4] F. Qian, Z. Wang, A. Gerber, Z.M. Mao, S. Sen, O. Spatscheck, "TOP: Tail Optimization Protocol For Cellular Radio Resource Allocation," In ICNP, pp. 285-294, 2010.
- [5] Configuration of Fast Dormancy in Release 8. 3GPP discussion and decision notes RP-090960, 2009.