

Use Case 에 따른 스마트폰 전력소모의 분석

최민*, 김남기**

*충북대학교 정보통신공학부

**경기대학교 컴퓨터공학과

e-mail : mchoi@cbnu.ac.kr*, ngkim@kyonggi.ac.kr**

An Analysis of Smartphone Power Dissipation by Use Case

Min Choi*, Namgi Kim**

*Dept. of Information and Communication Engineering
Chungbuk National University

**Dept. of Computer Engineering
Kyonggi University

요 약

최근 스마트폰 사용이 확산은 모바일 컴퓨팅의 성장을 이끌고 있다. 그러나, 배터리 구동 장치의 근본적인 특성 및 무선 네트워크의 제약으로 인하여 스마트폰을 통한 모바일 컴퓨팅을 실현하는데는 여러가지 장애물이 있다. 본 연구에서는 Use case 및 스마트폰 구성요소 관점에서 스마트폰 전력소모를 분석한다. 일반적으로 스마트폰은 다양한 컴포넌트로 구성되는데, 우리는 이러한 구성요소에서 발생하는 전원 손실을 분석하고, 다양한 Use Case 와 배터리 수명을 분석하기 위한 큐잉 모델(Queueing Model)을 개발하고 스마트폰 전력소모를 분석한 결과를 제시한다.

1. 서론

스마트폰 전력소모는 원하지 않는 시간동안 전력누수(leakage)가 정적(statically)으로 발생하거나, 사용자가 적극적으로 기기를 사용함으로써 동적(dynamically)으로 발생한다. 최근 스마트폰은 운영체제가 작동되는 스마트폰의 고유 특성으로 인해 사용자가 적극적으로 기기를 사용하지 않는다 하더라도 동적 전력 소비가 발생하고 있다. 기존 휴대 전화(feature phone)의 주된 관심사인 호 처리(call processing)와 같은 전통적인 기능의 휴대폰과 반면에, 스마트폰은 foreground 와 background 작업의 필요성으로 인하여 다양한 작업을 수행한다. 이러한 스마트폰의 속성으로 인하여 큰 전력소모가 발생한다 [3][4]. 1) 스마트폰 애플리케이션은 background 작업이나 서비스(service) 모드로 실행가능하다. 즉, 사용자는 주기적으로 안드로이드 서비스와 같이 background 작업으로 실행되도록 애플리케이션을 설치할 수 있다. 예를 들어, 우리는 구글 메일 동기화를 통하여 안드로이드 구글 메일 클라이언트가 구글 메일 및 스케줄러에서 콘텐츠의 동기화를 설정한다. 2) 명시적으로 스마트폰을 사용하지 않을 때에도 Wi-Fi, 블루투스, GPS 를 활성화 한 상태로 두는 것: 이들 센서를 사용하는 어플리케이션을 사용자가 직접적으로 사용하지 않더라도 단지 센서를 활성화 해두는 것만으로 전력 손실을 가져온다. 예를 들어, Wi-Fi 인터넷 프로토콜은 주기적으로 액세스 포인트(AP)와 비콘 신호(beacon signal)을 통해 통신한다. 이것은 유휴(idle) 시간에도 Wi-Fi 로 인한 전력 소비를 발생

한다. 3) 화면 구동: 전력 손실의 주요 관심사는 LCD display 의 back light 때문이다. 백라이트 전력 최소화는 모바일 휴대장치에 대한 배터리 수명을 효율적으로 연장할 수 있다.

본 연구에서, 우리는 다양한 Use case 시나리오 및 스마트폰 구성요소들의 두가지 관점에서 스마트폰 전력 소모에 대한 분석을 제공한다. 스마트폰은 일반적으로 CPU, GSM, LCD, 백라이트, GPS, Wi-Fi, 블루투스, 그래픽 등의 구성 요소를 갖추고 있다. 우리는 여러가지 스마트폰 구성요소의 전원소모를 분석하고, 다양한 use behavior 와 배터리 수명을 분석할 수 있도록 전력 분석을 위한 큐잉 모델(Queueing model)을 개발하였다. 따라서, 우리는 다양한 스마트폰 구성요소와 다양한 Use case 에 의한 전력 손실의 중요성을 살펴보고 분석하고자 한다.

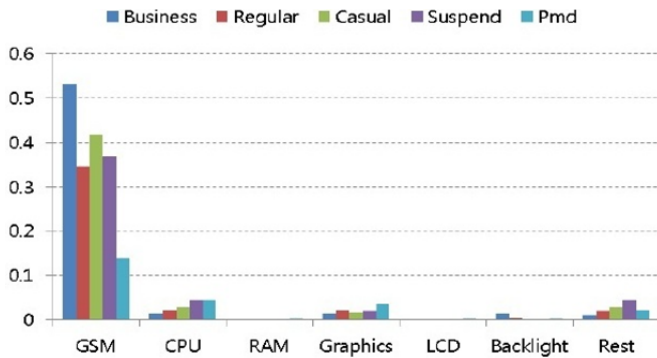
본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다: 2 장 및 3 장은 스마트폰의 구성요소 및 Use case 에 의한 전력소모 분석을 제공한다. 4 장에서는 분석결과를 요약하고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 다양한 구성요소에 따른 전력소모 분석

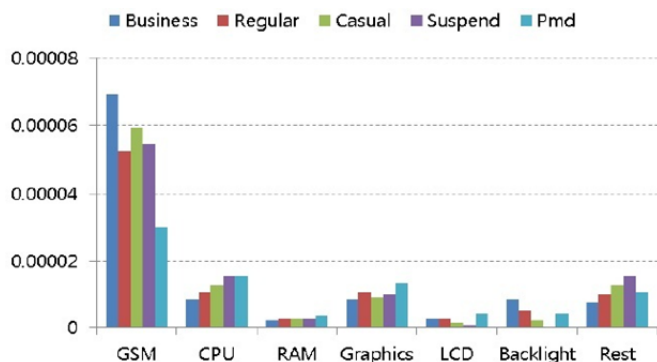
스마트폰 전력소모를 분석하기 위해서, 우리는 두 종류로 분류 가능한 예비실험(preliminary experiments)을 진행 하였다: 합성 부하(synthesized workload)과 실제 부하(real workload). 합성부하는 각 장치의 전력 소비(또는 센서)를 확인하기 위한 것이다. 실제 부하는 실제적인 스마트폰 애플리케이션이 실행 중일 때, 전력소모를 확인하는 것이다. 우리

는 같은 시간 동안 충전한 후에 완전히 충전된 배터리로 측정을 시작한다. 스마트폰의 화면은 항상 유지하도록 구성되어 있다. GPS 호출 간격은 5 초로 설정했다. 몇 시간 동안 전화의 순간 배터리 수준을 측정하기 위해서, 2 가지 종류의 작업부하를 실행하는 동안에 우리는 배터리 수준 모니터링하기 위한 어플리케이션을 사용한다. 배터리 상태 모니터링 어플리케이션은 다른 Activity 가 실행중일 때, 백그라운드(background)에서 실행되는 안드로이드 서비스 형태로 제작되었다. 모든 테스트 및 평가는 삼성 갤럭시 S(Samsung Galaxy S)에 설치된 배터리 상태 모니터링 어플리케이션으로 측정되었다. 본 실험을 여러 번 실행했을 때, 모든 실행에서 배터리 수준 강하가 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였으며, 그 평균값을 본 논문에서 제시한다.

본 실험이 수행된 실험 환경은 다음과 같다: (a) 전원 공급 장치, (b) 디지털 멀티미터(True RMS 멀티미터), (c) 스마트폰(삼성 갤럭시 S), (d) 노트북 컴퓨터. 삼성 갤럭시 S 의 정격 입력 전류 / 전압 범위는 3.7V 에서 1500mA 이다. 전압의 강하 없이 전압 차이가 안정적으로 3.7V 로 공급된다고 가정하고, 디지털 멀티미터로 현재 변화를 측정하여 전력 손실을 확인하였다. 스마트폰의 전원공급부 양단에 일련의 테스트 리드를 연결한 후에 우리는 디지털 멀티미터와 USB 와 연결된 노트북(d)을 사용해서 전류 흐름의 변화를 기록했다.



(그림 1) 다양한 구성 요소에 따른 대기열에 있는 평균 요청의 수



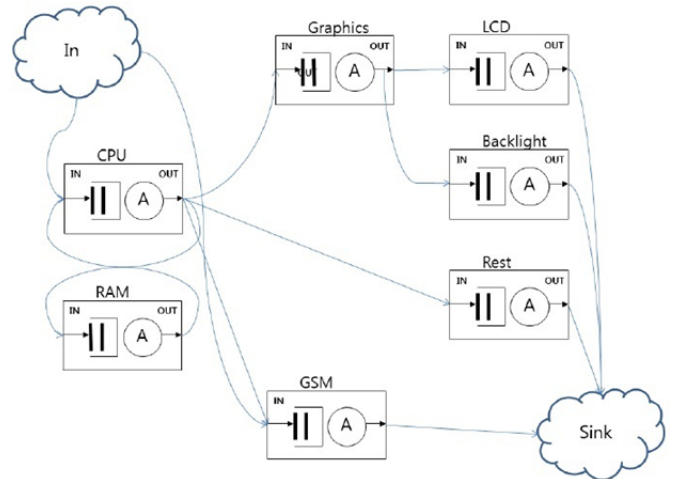
(그림 2) 다양한 구성 요소에 따른 평균 대기 시간

그림 1 은 다양한 구성 요소로 큐에 있는 요청의 평

균 수를 나타낸다. 일반적으로 많은 요청이 GSM 에 대기하고 있는 사실을 보여준다. 우리가 주로 전화통화를 위해서 스마트폰을 사용하기 때문에 상대적으로 많은 요청이 GSM 구성 요소에 머무른다. 그림 2 는 다양한 구성 요소의 대기열에 존재하는 평균 요청의 수를 나타낸다. 일반적인 스마트폰에서 GSM 및 CPU 는 가장 바쁜 구성 요소 중 상위 2 개에 속하며, 따라서, 다른 구성 요소보다 더 많은 평균 대기 시간을 보인다.

3. 다양한 사용 시나리오에 따른 전력 손실 분석

본 논문에서는 실험을 위해서 큐잉 네트워크 모델을 개발하였다. 스마트폰의 각 구성요소에 따라서 모델은 그림 3 에 나타난다. 실제로, 그림 3 에 보이는 것처럼, 7 가지 대기열로 구성된 구성 요소(노드들)의 수가 있다. 실제적인 요청은 시스템으로부터 종료되기 전에 한 번 혹은 그 이상 여러 번 서비스를 받을 수 있다. 즉, 노드 In 으로 진입한 요청이 여러 노드를 순회하면서 다수의 노드에 걸쳐 작업을 수행할 수 있다는 뜻이다.



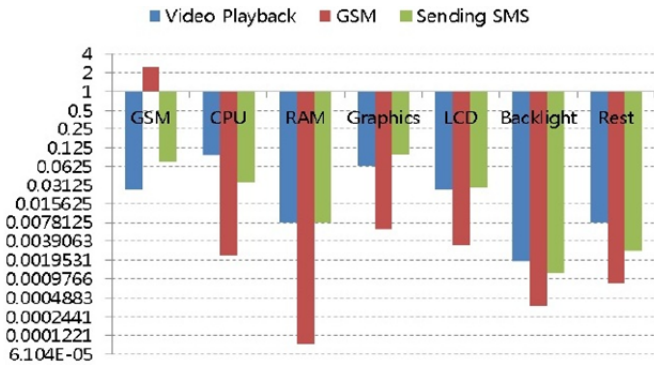
(그림 3) 스마트폰 전원 손실에 대한 큐잉 모델

요청은 포아송 프로세스(Poisson process)에 의하여 노드 “In” 에 도착한다. 이 때, 요청에 대한 초기화 프로세스가 이루어진다. 그 후, 요청은 구성 요소에 요청의 타입에 따라 “CPU” 나 “GSM” 구성 요소 중 하나로 진행된다; 요청이 통화를 처리하기 위한 것이라면, GSM 구성 요소로 간다. 요청이 단지 어플리케이션 처리를 위한 것이라면, CPU 구성 요소로 간다. 요청은 RAM, 그래픽, LCD, 백라이트와 REST 를 경유해서 지나간다. 결국 그들은 그림 3 의 오른쪽 아래에 있는 구성 요소에 의해 표시된 싱크 노드에 수집되어 진다. 우리의 시스템 모델은 외부의 출발과 도착을 가지는 오픈 대기 네트워크의 종류이다. 요청은 “IN” 에서 시스템에 진입하고 “OUT” 에서 종료한다. 시스템에 진입하는 요청의 수는 시간에 따라 달라진다. 오픈 큐잉 시스템(open queuing system) 분석에서 시스템 처리량(throughput)과 진입속도(arrival rate)은 제한되어 있음을 가정한다. 그리고 이 시스

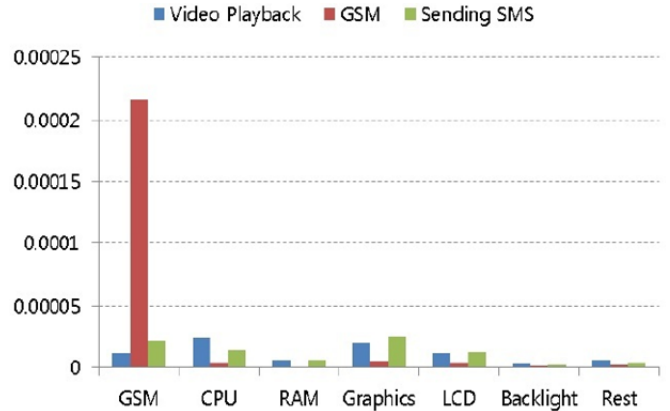
템의 불완전한 처리의 가능성은 없음을 가정하기 때문에 A 노드로 돌아갈 경로는 생성하지 않았다. 현재, 최근 스마트폰의 CPU 구성 요소는 듀얼 코어나 쿼드 코어로 알려진 하나 이상의 CPU 보다 많이 가질 수 있다. 그러나 우리는 본 연구에서는 모델을 단순하게 하기 위하여 싱글 코어(single core) 기반 스마트폰을 가정한다.

각 노드에서, 프로세서 공유 서비스 분야와 M/M/1 큐를 생각해 보자. 요청 도착 시간은 속도 λ 와 함께 푸아송 과정에 따르며 서비스 시간은 기하 급수적으로 배포된다. 그리고 오직 하나의 서버가 있다. 버퍼나 인구 크기 제한은 없고 서비스 규칙은 선입선출이다. 시스템 요청의 평균 수는 $E[n] = \sum_{n=1}^{\infty} np_n = \sum_{n=1}^{\infty} n(1-p)p^n = \frac{\rho}{1-\rho}$ 로 주어진다. 대기열에 요청의 평균 수는 $E[n_q] = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1)p_n = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1)(1-\rho)\rho^n = \frac{1}{1-\rho}$ 주어진다. 시스템에 요청이 없을 경우, 서버가 유휴인 것으로 알려져 있다; 다른 모든 시간에 서버가 응답하지 않는다. 시스템에서 n 또는 더 많은 요청의 확률은 (시스템에서 P 요청) $\sum_{n=1}^{\infty} p_{nj} = \sum_{n=1}^{\infty} (1-\rho)\rho^j = \rho^n$ 이다. 평균 대기 시간은 시스템에서 평균 수는 도착 속도에 평균 응답 시간을 곱한 것인 리틀의 법칙을 사용해서 계산할 수 있다. 즉, $E[n] = \lambda E[\gamma]$ 이거나 $E[\gamma] = \frac{E[n]}{\lambda} = \left(\frac{\rho}{1-\rho}\right)\frac{1}{\lambda} = \frac{1/\mu}{1-\rho}$ 이다. 이 두 표현이 연구 M/M/1 모델의 성능 분석을 위해 사용된다.

요청은 어떤 도착 속도 $\lambda > 0$ 일 때, 푸아송 과정에 따라 외부로부터 도착한다. 각 도착은 $P_{0Bj} \geq 0$ 과 $\sum_{j=1}^l p_{0Bj} = 1$ 일 때, REST 웹 서버 FARM 내의 노드 B_j 에서 의존적으로 라우팅된다. 노드 i 에서 서비스가 완료되면, 요청은 가능성 p_{ij} 나 네트워크를 떠날 가능성 $p_{i0} = 1 - \sum_{j=1}^l p_{ij}$ 에 의해 다른 노드 j로 이동한다. 따라서 우리는 외부의 도착 및 내부의 전환을 포함하는 노드 i, λ 에 전체 도착 속도를 가진다: $\lambda\lambda_i = ap_{0i} + \sum_{j=1}^l \lambda_j p_{ij}, i = 1, \dots, l$ then $\lambda = (-P)^{-1}a$.



(그림 4) 3 가지 Use case 에 따른 평균적으로 큐에 요청한 수



(그림 5) 3 가지 Use case 에 따른 평균 대기 시간

그림 4 와 그림 5 는 3 가지 Use case 시나리오에 따라 큐(queue)에 평균 대기 시간과 평균 요청의 수를 나타낸다. 우리는 M/M/1 큐로써 각각의 구성 요소를 모델링 하였다. 이 값은 요청의 수를 의미하는 구성 요소에 서로 다른 구성 요소에서 대기하는 시간을 의미한다. GSM 사용 시나리오에 대한 GSM의 대기 시간과 큐 길이가 매우 높은 이유는 우리가 자주 작업하는 동안 GSM 구성 요소를 사용하기 때문이다. 또 다른 경우를 들어, 누군가에게 SMS를 전송할 때, 그래픽, CPU, GSM, LCD와 같은 SMS 전송을 위한 관련된 구성 요소는 빈번하게 사용되기 때문에 그들은 SMS 사용 사례를 전송하는 동안에 더 높은 평균 대기 시간과 평균 요청의 수를 가진다.

4. 결론

본 연구에서, 우리는 사용 시나리오 및 스마트폰 구성요소들의 서로 다른 두 관점을 전제로 스마트폰 전력 손실의 분석을 제공한다. 일반적으로 스마트폰은 다양한 구성요소가 있다. 우리는 다른 구성 요소의 전원 손실을 분석하고, 다양한 사용 행동과 배터리 수명을 분석할 수 있도록 전력 분석을 위한 큐잉 모델을 개발하였고 그 결과를 제시하였다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학부 산하 한국연구재단(NRF)일반연구자 지원사업 (2012-0008105)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

[1] Aaron. C., Gernot H., "An Analysis of Power Consumption in a Smartphone", the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference, 2010.
 [2] MAHESRI, A., AND VARDHAN, V. Power consumption breakdown on a modern laptop. In Proceedings of the 2004 Workshop on Power-Aware Computer Systems (Portland, OR, USA, Dec. 2004), B. Falsafi and T. N. Vijaykumar, Eds., vol. 3471 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp. 165-180.