

모바일 기기의 전력 측정을 위한 휴대용 시스템 (Portable Power Measurement System for Mobile Devices)

최 기 용 [†] 이 정 원 ^{††}
(Kiyong Choi) (Jung-Won Lee)

요 약 모바일 상황인지 기술의 확산을 위해 모바일 기기의 효율적인 전력 사용이 요구되고 있다. 효율적인 전력 사용을 위해서는 모바일 기기가 사용하는 전력의 정확한 측정과 분석이 필수적이다. 그러나 기존의 모바일 기기 전력 측정 및 분석은 실제 동작환경인 이동 중 상황에 대해 고려하지 못하여왔다. 본 연구에서는 기존 측정 방식 도구들을 9가지 항목으로 비교하여 모바일 기기를 위한 포터블 전력 측정 및 분석에서의 요구사항을 도출하였고, 요구사항을 반영한 설계에 따라 임베디드 시스템 PPAM(portable power measurement and analysis tools)을 개발하였다. PPAM을 이용하여 모바일 기기의 GPS, WiFi, 가속도 센서모듈 전력을 측정하였으며, 기존의 방법과는 달리 실시간으로 이동 중인 상황에도 기기의 전력 사용을 센서별로 정확히 측정할 수 있었다. 또한 각각의 모듈은 동작 상태에 따라 전력 소모가 다르기 때문에 상태별로 분석하여 모듈의 사용에 따른 단위 전력을 구할 수 있었다.

키워드: 상황인지, 모바일기기, 전력측정, 전력분석, 위치인식

Abstract It is required to use device's power efficiently for mobile context-aware technology to be widely used. The accurate measurement and analysis of the amount of power consumption is essential to use power efficiently. However, the existing methods for the power measurement and analysis of mobile device don't have considered the operating environment with real-time context which is generated by mobility. Therefore, we extracted the requirements for portable power measurement and analysis by comparing the existing methods based on 9 criteria and developed an embedded system (called PPAM: portable power measurement and analysis tools) according to the requirements. Using the PPAM, we conducted measuring and analyzing the amount of power consumption of GPS, WiFi, and acceleration sensor module. The result shows that the power consumption of the mobile device can be measured accurately according to sensors on the move. It also shows that we can get the amount of power consumption of individual sensors per unit time by differentiating them according to the operating states.

Keywords: context-awareness, mobile devices, power measurement, power analysis, and location-aware

· 본 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2010-0013796)

[†] 학생회원 : 아주대학교 전자공학과
ki815kaisian@gmail.com
^{††} 종신회원 : 아주대학교 전자공학과 교수
jungwon@ajou.ac.kr
(Corresponding author)
논문접수 : 2013년 12월 10일
심사완료 : 2014년 1월 22일

Copyright©2014 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제20권 제3호(2014.3)

1. 서 론

스마트폰의 보급과 위치 인식 기술의 발달 등에 의해 모바일 상황인지 연구는 확산되고 있다[1]. 모바일 상황인지란 사용자의 모바일 기기를 통해 획득할 수 있는 정보들로부터 사용자의 상황을 인지하고 추론하여 서비스를 제공하는 기술이다[2]. 이런 모바일 상황인지 기술의 확산을 저해하는 요소가 있다. 바로 상황인지의 정확도 문제, 모바일 기기 특유의 제한된 성능, 그리고 전력 문제이다. 첫째, 상황인지의 정확도를 높이기 위한 연구는 어플리케이션 사용 통계와 상황정보를 이용한 연구[3], 계층적 모바일 상황 모델을 이용한 연구[4], 이동 패턴

과 경로 모델을 결합한 연구[5] 등으로 많은 연구가 진행이 되고 있다. 둘째, 모바일 기기는 독립된 개체로 동작된다는 특징에 의해 기기의 성능에 의존적일 수밖에 없다. 한정된 계산 능력으로 인하여 서버와의 통신이 추가적으로 필요할 수 있고, 기기에 포함된 센서의 성능에 의존하여 상황인지 데이터를 수집해야 하는 문제가 있다. 그러나 이 문제들은 기기의 성능 향상으로 점차 해결이 될 것이다. 마지막으로, 배터리에 의해 동작되는 모바일 기기는 한정된 가용전력으로 인해 센서의 사용이 제한적이다. 그래서 효율적인 전력 사용이 모바일 상황인지의 지속가능성을 결정한다. 이런 이유에서 효율적인 전력 사용에 대한 연구 또한 진행 중이다[6-9].

상황인지 서비스의 효율적인 전력 사용을 위해서는 기존의 전력 측정 도구가 가지는 한계점을 보완하는 휴대가능한 모바일 기기 전용 전력 측정 및 분석 도구가 필요하다. 모바일 기기의 전력 측정 및 분석 도구가 휴대가능 해야 하는 이유는 SNS(Social Network Service), LBS(Location Based Service)를 비롯하여 U-헬스케어, 교통정보 등의 현재 위치정보를 필요로 하는 어플리케이션의 사용이 증가[10]하여 위치인식 기술에 필요한 센서 데이터의 수집이 중요하고, 이 데이터를 제공하는 모듈은 동작 환경에 따라 전력의 소비가 다르기 때문이다.

또한, 기존의 Monsoon Power Monitor(이하 Monsoon)[11] 같은 전력 측정 도구들이 가지는 한계는 연구실 내에서 실험을 진행하거나 많은 사전 준비를 거쳐 실외 실험을 진행해야 했다. 그러나 이러한 측정 방법은 모바일 기기의 실제 사용 환경인 이동 중의 측정이 힘들고, 로그를 이용하여 분석한다는 점에서 다음과 같은 문제가 있다. 첫째, 데이터의 과다이다. 측정된 데이터를 로그로 저장하여 사후 분석을 하는 방법은 로그의 방대함으로 저장량에 민감해진다. 예를 들어 Monsoon은 0.2ms의 주기로 데이터를 저장하는데, 1초에 5,000개, 1시간이면 18,000,000개의 데이터를 저장하게 된다. 저장량이 많을 경우 측정 주기를 늘려서 정밀도를 낮추거나, 일정량 이상의 데이터가 모이면 서버에 로그를 전송하는 방법을 취해야한다. 둘째, 모바일 기기의 실제 동작과 로그의 동기화가 어렵다. 기존 전력 측정 도구는 데이터를 저장할 때, 측정 시작시간을 0으로 하여 경과시간에 대한 데이터를 저장한다. 그래서 로그의 분석을 위해서는 어느 시점에 모바일 기기의 어떤 모듈이 사용되었는가를 모두 기록으로 남겨야 하는데, 이것은 불편할 뿐만 아니라, 최근 보안문제로 인해 사용정보에 접근하는 것은 제한되어진다.

포터블한 전력 분석에 대한 연구도 몇몇이 진행되어왔다. 이 연구들의 특징은 모바일 기기 내에 전력 분석을 위한 어플리케이션으로 소프트웨어적인 분석을 시도

하였다. 대표적인 예로 Powertutor[12], Appscope[13], Battery Drain Analyzer[14]가 있다. Powertutor, Appscope는 에너지 모델을 이용한 프로파일링 방식을 사용하였고, Battery Drain Analyzer는 OS에서 제공하는 배터리 어플리케이션과 같은 방법인 단위시간당 전력 소모에 대한 점유율 계산을 통해 전력을 측정한다. 점유율 계산 방식은 어플리케이션별로 전력 사용량을 측정하는 반면, 에너지 모델을 이용한 프로파일링 방식은 각 모듈별 전력 사용에 초점을 두고 있다. 모듈의 소모 전력을 구하여 제작된 에너지 모델을 이용하여 모듈 사용 시간으로 소모 전력을 구하는 이 방법은 에너지 모델이 기종에 대해 종속적이어서 대상 기종이 바뀔 때마다 에너지 모델을 구축해야하는 단점이 있다.

따라서 본 논문은 기존의 전력 측정 도구들의 한계를 보완하고, 모바일 기기의 동작 환경에 맞는 포터블 전력 측정 및 분석 도구를 제안하고 개발한다. 이 도구를 이용하여 안드로이드 레퍼런스 기기인 NexusOne과 Nexus4의 모듈 상태별 단위 전력을 구하고, 위치 인식 기술 알고리즘을 고안하여 위치 인식에 필요한 전력 소모량을 예측해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 앞서 언급했던 측정 및 분석도구에 대해 살펴보고, 3장에서는 2장에서 내용을 바탕으로 전력 측정 및 분석 도구의 요구사항을 분석하고 설계한다. 4장에서는 포터블 전력 측정 및 분석 도구를 구현하고, 위치 인식에 필요한 모듈의 전력을 구해 결과를 확인한다. 마지막으로 5장은 포터블 전력 측정 및 분석 도구의 특징을 정리하고 이용방안에 대해 살펴보고 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 SW 전력 분석방식

소프트웨어 분석 방식은 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 먼저, 모듈이 얼마나 사용 되었는지를 프로파일링 하여 단위전력량을 포함하는 에너지 모델을 사용하여 전체 사용량을 계산하는 방식이 있다. 다음으로는 전체 전력 사용량을 확인하고, 단위 시간에 사용된 전력량을 해당시간에 프로세서를 점유하고 있던 비율로 나누어 각 프로그램에 대한 전력 사용량을 계산하는 방식이다. 전자는 한 프로그램이 어떤 모듈을 얼마나 사용하는지를 확인하기에 유용하고, 후자는 여러 프로그램이 전체 사용량에 대하여 각각 얼마나 사용했는지를 확인하기에 유용하다.

2.1.1 에너지 모델을 이용한 프로파일링 방식

에너지 모델을 이용한 프로파일링 방식은 에너지 모델을 생성하는데 필요한 노력으로 인해 많이 사용되지 않는 방식이다. 하지만 각 모듈별 전력의 사용량을 확인

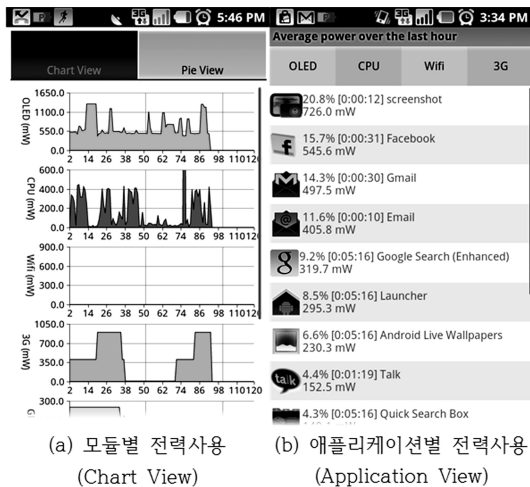


그림 1 Powertutor의 사용화면

Fig. 1 Use screen of Powertutor

할 수 있기 때문에 개발자에게 유용한 전력분석 방식이다. 대표적인 예로 Powertutor와 Appscope가 있다.

그림 1은 Powertutor의 사용화면이다. Powertutor는 HTC의 G1, G2, NexusOne를 이용하여 에너지 모델을 생성하고, 그 모델을 이용하여 에너지 사용량을 분석한다. 에너지 모델의 생성은 Monsoon Power Monitor를 이용하여 CPU의 사용량, LCD 밝기, GPS, WiFi, Cellular, Audio의 단위 전력을 구한다[10].

(a)를 보면 Powertutor는 모듈별로 얼마나 사용하였는지를 각각 그래프로 표시한다. (b)에서는 어플리케이션 별로 사용량을 확인할 수 있다. 상단의 OLED, CPU, WiFi, 3G 버튼은 각 모듈의 사용량을 반영할 것인지 선택할 수 있다.

Appscope는 Devscope[15] 프로젝트를 통해 얻어진 에너지 모델을 이용한다. Devscope으로 생성한 모델은 Powertutor의 에너지 모델에서 Audio가 제외된 것이다. Appscope는 프로파일링을 위해 커널을 수정하여 프로세서의 동작을 모니터한다[13]. 분석을 위해서는 Nexus-One에 커널이 수정된 OS를 올리고, PC에서 전용 뷰어를 이용하여 전력 값을 확인한다. 전체 사용량에서 해당 모듈이 차지하는 비중을 그래프로 보여준다.

에너지 모델을 이용한 소프트웨어 분석 방식은 한계가 있다. 모바일 기기에 들어가는 모듈은 기종마다 차이가 있다. 그로 인해 각 기종은 서로 다른 에너지 모델을 필요로 한다. 모든 기종에 대한 에너지 모델을 제공하는 힘들다. 또한 에너지 모델에 반영되지 않은 동작에 대해 분석할 수 없다.

2.1.2 단위시간당 전력 소모에 대한 점유율 산정방식
안드로이드는 자체적으로 배터리 사용량에 대한 정보

를 제공한다. 시스템은 배터리의 잔량과 충전 상태 등을 확인이 가능하고, 전력 사용정보를 알 수 있다.

안드로이드 배터리정보는 시스템이 동작 중에 배터리 잔량의 변화를 그래프로 제공해준다. 또한 각 시스템 요소 및 어플리케이션이 동작한 시간을 기준으로 배터리 사용에 대한 점유율을 제공한다. 배터리 드레인 분석기는 배터리 잔량이 1% 감소하는데 걸린 시간과 그 시간 동안에 기기의 사용정보를 이용하여 배터리의 예상 사용시간과 각 요소들이 얼마나 전력사용에 관여했는지를 알려준다. 그러나, 이 방식은 통계치를 이용한 계산 방식이라 정확한 수치를 알 수 없다는 한계점을 가진다.

2.2 HW 전력 측정방식

전력 측정 방식에서 하드웨어 측정 방식 역시 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 먼저 외부에서 전력을 공급하며, 전력사용에 대한 기록을 통해 한 동작이 얼마나 전력을 추가로 사용하는지 확인하는 방식이 있다. 이 방식은 배터리를 포함한 상태에서는 측정이 어렵다는 제약이 있다. 다음으로는 모바일 기기 내부에 있는 배터리 모니터링 유닛(BMU, Battery Monitoring Unit)을 이용하여 배터리에서 공급한 전력을 확인하는 방식이 있다. 이 방식은 단위 시간에 대한 정확한 단위 전력을 획득할 수 있으나, BMU에 접근하기 위해서는 커널 수정이 필요하고, BMU의 샘플링시간에 동기화된 정보만 획득한다는 단점이 있다.

2.2.1 외부전력공급 방식

모바일 기기는 배터리에 저장된 전력을 공급받거나 USB 단자를 통해 외부에서 전력을 공급받아 동작한다. 그러므로 배터리에서 공급되는 전력을 제외시킨다면 외부에서 공급하는 전력이 모바일 기기가 사용하는 전력의 총량이다. 모바일 기기의 사용정보와 전원 공급 기록을 비교하면 모바일 기기의 사용에 따른 전력을 계산할 수 있다.

외부전력 공급 방식의 대표적인 예로 Monsoon이 있다. Monsoon은 모바일 기기 전용 측정 모드가 있고, 이 모드를 사용하기 위해서는 그림 2와 같이 측정하여야 한다. ㉠은 모바일 기기에서 배터리를 분리하여 단자를 제거하고 전극을 확장한 모습이다. 확장한 전극에 ㉡와 같이 전선을 연결한다. 배터리를 ㉢와 같이 확장한 전극이 배터리 단자 대신 기기와 연결이 되도록 한다. ㉣에서 연결한 선을 ㉠의 Monsoon 측정 단자와 연결하여 배터리의 전력을 배제한 상태에서 Monsoon이 공급하는 전력을 측정한다. 그러나 모바일 기기는 최근에 배터리 내장형으로도 출시되어 일부 기기는 훼손 없이는 Monsoon을 사용할 수 없다. 또한, 실내의 고정된 위치에서는 측정이 가능하지만, 모바일 기기의 실제 동작환경인 이동 중에는 전력 측정을 할 수 없다는 단점이 있다.

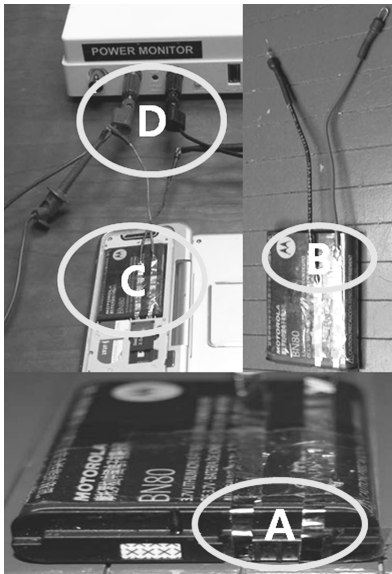


그림 2 Monsoon의 전력측정 모습

Fig. 2 Monsoon's power measurement picture

2.2.2 BMU를 이용한 방식

모바일 기기는 리튬이온 배터리를 사용한다. 리튬이온 배터리를 안전하게 사용하기 위해서는 배터리의 상태를 관리하는 회로가 추가적으로 필요하다. 그래서 모바일 기기에는 필수적으로 BMU가 내장되어 있다. 이 BMU는 배터리의 충전, 방전을 제어하고, 현재 전압과 전류를 알 수 있다.

BMU를 이용한 방식으로는 Devscope가 있다. Devscope는 NexusOne의 에너지 모델을 만들기 위한 용도로 제작되었다. NexusOne의 BMU인 DS2784는 측정 범위가 -3430mA에서 3430mA까지이고, 분해능이 104uA이다. 측정 주기는 53.8us 이지만, 측정 결과를 얻을 수 있는 업데이트 주기는 3.52초이다. 상대적으로 느린 업데이트는 기기의 동작을 모두 포함할 수 없다. 때문에 기기의 동작과 타이밍을 맞춰야 한다. 그래서 Devscope는 Android의 커널을 수정하여 각 모듈의 동작을 BMU의 업데이트 주기와 동기화 시키고 측정한다[15]. 이렇듯 Devscope는 NexusOne과 수정된 Android 커널에 종속되어있다. BMU를 이용하면 기기 내부에서 측정할 수 있어 외부요인에 의한 오차가 발생하지 않아 이동 중에도 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 기기와 커널에 종속적인 단점이 있다.

3. 포터블 전력 측정 및 분석 도구 설계

우리는 여러 가지 측정 및 분석 방식에 대해 조사하고 9가지 항목에 대해 전류계와 Monsoon, App(Dev)scope

비교하였다. 점유율 산정방식의 배터리 드레인 분석기는 센서 모듈이 얼마나 사용되었는지 알 수 없고, 어플리케이션이 사용한 정확한 전력을 알 수 없기 때문에 제외하였다. Monsoon은 외부전력공급 방식, Devscope는 BMU를 이용한 방식, Appscope는 에너지 모델을 이용한 프로파일링 방식을 대표한다. 이중 Appscope의 에너지 모델은 Devscope를 이용하여 생성하였기 때문에, 둘을 하나의 도구로 가정하였다. Powertutor는 Monsoon을 이용하여 에너지 모델을 생성하여 Monsoon에 반영하였다.

기존의 측정 도구들은 모바일 기기를 측정 대상으로 하고 있음에도 불구하고, 그 측정방식에서 이동성을 고려하고 있지 않다. 또한 측정의 목적이 전력 사용에 대한 분석이라 볼 때, 분석에 대한 고려가 부족하며, 기종과 형태의 다양함을 충족하지 못함을 알 수 있다. 그래서 기존의 측정 기술에 이동성과 이식성, 분석 단계를 보완하는 모바일 기기를 위한 포터블 전력 측정 및 분석 도구(Portable Power Measurement and Analysis tools, 이하 PPAM)가 필요하다.

3.1 요구사항분석

다음 표 1은 여러 가지 측정 및 분석 방식에 대해 조사하고 9가지 항목에 대해 전류계와 Monsoon, App(Dev)scope 비교한 내용을 정리한 것이다. 비교 항목은 단계와 지향성으로 구분할 수 있다. 단계에 의한 구분은 측정과 분석이다. 측정 단계에서는 용이성, 독립성, 정밀성, 이동성, 이식성의 5가지 요구사항들이 있고, 분석 단계에서는 정확성, 실시간성, 재사용성, 이벤트기반 정보제공의 4가지 요구사항들이 있다. 지향성은 하드웨어 지향성과 소프트웨어 지향성으로 구분할 수 있다. 하드웨어

표 1 기존 도구에 대한 항목별 비교 및 제안하는 도구에 대한 비교

Table 1 Comparison among criteria of existing tools and comparison of Proposed tools

Step	HW/SW Oriented	Criteria	Am-meter	Monsoon	App (Dev) Scope	Proposed tools
Measurement	HW	Easy to setup	X	△-	△	△+
	HW	Independency	X	X	△	△
	HW	Resolution	△-	O	(O)	△
	HW	Mobility	△	X	△+	O
	HW	Portability	△-	△	X	O
Analysis	HW	Accuracy	O	O	(△)	O
	SW	Realtime	△	O	O	O
	SW	Reusability	X	△	(O)	O
	SW	Event-Driven information	X	△	(O)	O

O Excellent, △+ Good, △ Okay, △- Poor, X Very poor

() The corresponding entry in Devscope

어 지향성 요구사항들은 하드웨어 성능과 구조에 밀접한 관계가 있어 하드웨어 설계 시에 반영이 되어야 한다. 소프트웨어 지향성 요구사항은 제어 방식과 처리 방식 등 프로그램 설계 시에 반영이 되어야 한다.

3.1.1 측정 단계 요구사항

- Easy to setup(용이성): 측정 환경의 셋업이 쉬워야 한다. Monsoon의 배터리 분해 조작이나 Appscope의 OS 교체 같은 작업 없이 측정이 가능해야 한다.
- Independency(독립성): 측정 도구만으로 측정과 확인이 가능해야 한다. 정확한 분석과 결과의 시각화를 위한 PC 사용 이외에는 추가 자원이 필요 없도록 한다. 즉, PC 없이도 측정이 가능해야 한다.
- Resolution(정밀성): 휴대형 장비의 단점인 낮은 분해능을 극복한다. 기기 내부의 BMU를 사용한 Devscope나 스탠드장비인 Monsoon의 높은 분해능과 정밀함에는 미치지 못하나, 기존의 휴대형 장비 보다 높은 분해능인 1mA대의 분해능을 가지도록 한다.
- Mobility(이동성): 이동 중 측정이 가능하도록 한다. 모바일 기기가 동작하는 상황은 이동 중인 경우가 많으므로 이동 중에도 측정이 가능한가는 중요한 요소이다. 소형화된 측정도구와 휴대 가능한 전원, PC가 필요 없는 측정방식으로 이동 중에도 측정이 가능하도록 한다.
- Portability(이식성): 모바일 기기의 제한 없이 측정이 가능해야 한다. 모바일 기기의 기종과 형태는 다양해지고 있다. 기종이 다르면 사용된 모듈이 다를 수 있어 소모 전력을 예상하기 어렵다. 또한 최근 출시하는 기기 중에는 배터리를 분리할 수 없는 형태의 배터리 내장형 기기도 있기 때문에 모든 기종에 이식이 가능하도록 한다.

3.1.2 분석 단계 요구사항

- Accuracy(정확성): 측정 기술의 발전으로 정밀함의 차이는 있으나, 측정값은 정확하다. 분석 도구에서 정확성은 모바일 기기의 실제 사용량을 정확히 반영하는가이다. 에너지 모델을 사용한 분석 방식은 동작이 모델에 반영되어있는가에 그 결과가 달라진다. 각 모듈이 소모하는 전력의 합인 전체 소모 전력은 외부에서 공급한 전력으로 알 수 있다. 각 모듈은 동일한 상황에서 일정한 전력을 소모하기 때문에 특정 모듈이 동작할 때, 공급하는 전력의 변화로 전력을 알 수 있도록 한다.
- Realtime(실시간성): 측정과 동시에 측정값 확인이 가능하도록 한다. 결과를 분석하는데 있어서 측정과 동시에 확인이 가능한지는 중요한 항목이다. Monsoon과 Appscope는 측정된 결과를 PC의 전용 프로그램으로 실시간 분석이 가능하다. 측정에 PC가 필요 없기 때문에 도구에서 간단한 분석을 하여 모바일 기기에서 확인이 가능하도록 한다.

- Reusability(재사용성): 다른 프로그램에서도 사용이 가능하도록 한다. 도구 재사용성은 중요하다. Monsoon은 전용 프로그램을 지원하지만, 그 결과를 다른 프로그램에서 이용하기 위해서는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. Devscope의 에너지 모델은 Appscope에서 사용을 했고, 에너지 모델은 다른 프로그램에서도 재사용이 가능하다. 정해진 명령어에 의해서 동작하고 정해진 포맷으로 출력이 되도록 하여 재사용성이 가능하도록 한다.
- Event-Driven information(이벤트기반 정보제공): 모바일 기기의 동작과 측정결과와 동기를 맞추어 분석이 용이하도록 한다. Devscope는 커널을 수정하여 모듈의 동작과 측정주기를 맞추었고, Monsoon은 시간 축에 따라 결과를 일일이 확인을 해주어야 한다. 측정결과에 문자열을 삽입할 수 있도록 설계하여, 분석이 수월하도록 한다.

3.2 설계

그림 3과 같이, PPAM은 4개의 모듈, 메인모듈, 전원모듈, 블루투스 모듈, SD모듈로 구성된다. 메인모듈은 PPAM의 전체 제어, 전력 측정, 데이터 계산 및 처리를 담당한다. 전원모듈은 모바일 기기에 안정적인 전력을 공급하고, 메인모듈이 전력을 측정할 수 있게 한다. 블루투스모듈은 모바일 기기와 무선통신을 하고, SD모듈은 측정데이터를 저장한다. 기존의 측정 도구를 비교하여 얻은 PPAM의 요구사항에서 이동성과 이식성, 재사용성과 이벤트기반 정보제공에 대한 고려가 설계에 필요함을 알 수 있다.

표 2는 요구사항에 따른 설계 내용과 관련 모듈이 나타나 있다. 각 모듈이 하나 또는 둘 이상 모여 요구사항들을 만족시키는 설계가 가능해짐을 알 수 있다.

3.2.1 메인모듈 설계

- Resolution: 전류센서용 저항에서 입력 받는 전압은 mV단위 이하의 미세전압이다. 일반적인 ADC(Analog to Digital Converter)로는 측정을 할 수 없다. 1mA 수준의 분해능을 가지기 위해 입력전압을 200배 증폭할 수 있도록 설계한다.
- Easy to setup & Accuracy: 편리하게 기기의 전력사용을 분석하기 위해서 전체 소모 전력을 측정한다.
- Independency & Realtime: 기기로부터 분석을 위한 동작 정보를 받으면 구간을 나눈다. 동작에 대해 설정된 구간에서 측정 데이터로 평균전력을 분석한다.
- Reusability: PPAM의 재사용이 가능하게 하기 위해, 소프트웨어적인 접근이 필요하다. 정해진 형식의 입출력은 다른 어플리케이션이 PPAM을 이용할 수 있게 한다. 모바일 기기에서 OS에 대한 수정 없이, 어플리케이션만으로 동작되도록 한다. 정해진 명령어를 사용하여 PPAM을 동작시키고 정해진 포맷으로 결과를 출력

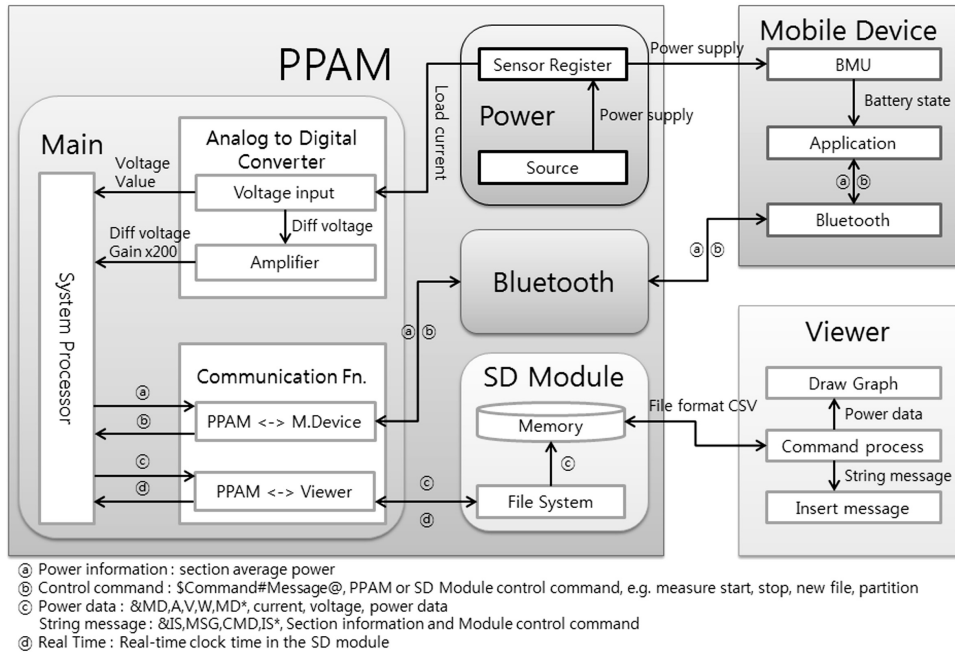


그림 3 PPAM 구조도

Fig. 3 Architecture of PPAM

표 2 요구사항에 따른 PPAM의 설계와 관련 모듈

Table 2 Design and Related Modules of PPAM according to requirements

HW/SW Oriented	Criteria	Requirements	Design	Related Modules			
				M	P	B	S
HW	Mobility	Possible to measure the amount of power on the move	<ul style="list-style-type: none"> Lightening weight and downsizing by allowing to use USB power and an universal battery Use of replaceable storage Controllable measurement by a mobile device 		O	O	O
	Portability	Independent of a kind of devices	<ul style="list-style-type: none"> Measurement using USB connector Possible to process an internal battery 		O		
	Resolution	Resolving power	<ul style="list-style-type: none"> Measurement using a precision resistor for sensor Amplifying 200 times than measured value resolution of 1mA-level 	O	O		
HW & SW	Easy to setup	Easy to build an experimental environment for measurement	<ul style="list-style-type: none"> Available to measure supplied power passing a battery connector of a mobile device through PPAM 	O	O		
	Accuracy	Not a part of power consumption but the whole of a device (=coverage)					
	Independency	Possible to measure and analyze with only the tool	<ul style="list-style-type: none"> Possible to analyze the average power of measurement section in mobile device 	O		O	
	Realtime	Simultaneous measurement and analysis					
SW	Reusability	Reusable systems	<ul style="list-style-type: none"> Using the standard command and output format 	O		O	O
	Event-Driven information	Providing information easy to analyze the activities of modules	<ul style="list-style-type: none"> Easy to analyze the result by associating activity information and the measurement value-by inserting event strings into the result of measurement using a command 	O		O	O

M-Main, P-Power, B-Bluetooth, S-SD Module

한다. 표준 통신규격인 블루투스과 표준 저장장치인 SD 메모리를 사용하면 PPAM은 다른 시스템에서도 재사용이 가능해진다.

- Event-Driven information: 측정결과와 동작 정보에 따른 분석이 쉽도록 구간에 대한 정보 외에도 명령어에 의해 필요한 문자열을 삽입 할 수 있도록 한다.

3.2.2 전원모듈 설계

- Mobility: 이동 중 측정이 가능하게 하려면 가장 중요한 것은 전원모듈이다. 전원소스가 휴대 가능하지 않으면 측정도구는 이동성을 상실한다. 휴대 가능한 전원소스에 의해서 도구가 동작이 되도록 해야 한다. 동시에, 전원 소스가 고정적이려면 측정의 자유도를 저해한다. 여러 전원소스에 대응할 수 있도록 한다.
- Portability: 모바일 기기의 USB 단자로 전력을 공급하고, 공급한 전력을 측정하면 배터리 내장형 기기에 대한 제한이 없어진다.
- Resolution: 저항에 의한 전력 손실을 줄이고 측정값이 유효한 범위에 있도록 하는 크기의 전류센서용 정밀저항을 사용한다.
- Easy to setup & Accuracy: PPAM을 거쳐서 전력을 공급하면 측정이 될 수 있도록 한다. 외장 보조 배터리를 사용하듯이 안정적인 전력을 공급하도록 한다.

3.2.3 블루투스모듈 설계

- Mobility: 기존 측정방식이 제어 및 표시장치로 사용하는 PC용 뷰어 프로그램이 아닌 블루투스모듈을 이용하여 모바일 기기에서 측정의 제어 및 확인이 가능하도록 한다. \$Command@ 형태의 명령으로 측정의 시작, 종료, 현재시각확인, 새파일 등의 명령을 수행할 수 있고, 구간 평균전력을 모바일 기기에서 확인할 수 있도록 한다.
- Independency & Realtime: 메인모듈이 구간을 나누어 분석할 수 있도록 명령을 전달한다. 명령은 \$Command# Message@의 형태로 한다. 커맨드는 MSGSTR, MSGEND로 전체 측정구간의 처음과 끝을 알려주고, SUBSTRn, SUBENDn으로 n번째 서브구간의 시작과 끝을 알려준다. 메시지는 같은 패킷 커맨드의 구간 동작 정보를 입력해준다. 하나의 구간이 끝나면 메인모듈이 분석한 구간의 평균전력을 모바일기기로 전송한다.
- Reusability: 블루투스모듈을 이용한 PPAM의 제어로 정해진 명령을 사용하는 모바일 기기의 어플리케이션은 페어링 후, PPAM의 사용이 가능하다.
- Event-Driven information: 커맨드와 함께 전송하는 동작정보는 분석 단계에서 기기의 동작과 측정 데이터를 대조할 수 있게 한다.

3.2.4 SD모듈 설계

- Mobility: 한정된 저장 공간은 이동이 가능하더라도 범위를 제한한다. 그래서 저장소를 교체할 수 있도록 SD

메모리 모듈을 사용하는 설계로 데이터의 양에 상관없이 측정을 할 수 있게 한다.

- Reusability: SD메모리에 CSV파일로 저장하여 저장된 파일의 호환성을 높인다. &MD,A,V,W,MD* 형식으로 전류, 전압, 전력 측정 데이터를 저장하고, &IS,MSG,CMD,IS* 형식으로 뷰어에서 구간 구분에 사용될 명령과 표시할 메시지를 저장한다.
- Event-Driven information: 측정 결과를 분석하기 위하여 SD메모리에 저장할 때, 측정 중 실제 시간을 기록할 수 있도록 하고, 측정 데이터 사이에 분석에 필요한 동작정보를 문자열로 삽입할 수 있도록 명령어를 지원한다. SD모듈과 메인모듈의 통신 속도를 고려하여 200ms 주기로 데이터를 저장한다. 동시에 명령어에 따라 측정 구간을 구분하고, 측정 구간별로 평균전력을 구하여 SD메모리에 저장한다.

4. 구현 및 실험

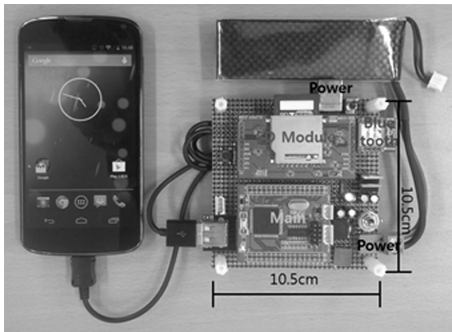
4.1 구현 및 비교

4.1.1 구현

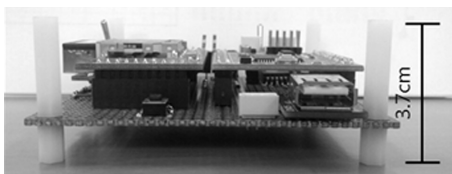
측정과 분석의 9가지 항목에 대한 설계를 바탕으로 그림 4와 같이 구현하였다. 구현한 PPAM의 사양을 정리해보면 표 3과 같다. PPAM의 메인모듈은 Atmel사의 ATmega128을 사용하여 구현하였다. 내장 ADC모듈은 10비트 분해능에 2비트 오차범위를 가지고, 차동증폭(Differential Amplify)으로 200배까지 가능하여 설계한 수준의 결과를 얻을 수 있다. ATmega128은 2개 채널의 UART(Universal asynchronous receiver transmitter)를 가지고 있어, 블루투스모듈과 SD모듈에 각각 통신을 연결할 수 있다.

블루투스모듈은 Firmtech사의 블루투스 임베디드 모듈인 FB155BC를 사용하였다. FB155BC는 UART 인터페이스이고, 115.2kbps의 통신 속도를 가진다. 모바일 기기의 블루투스모듈과 PIN code교환으로 페어링 하여 통신한다. 블루투스모듈을 이용하여 측정을 제어할 수 있고, ATmega128이 SD메모리 모듈에 명령을 내리도록 지시할 수 있다.

측정 데이터의 저장은 SD메모리 모듈, SD-COM5-RTC를 사용하여 파일의 생성과 저장, 기록이 가능하도록 하였고, 모듈 자체적으로 제공하는 명령어세트를 활용하여 ATmega128로 제어한다. SD-COM5-RTC는 파일 시스템으로 FAT16을 사용하고 있어, 저장소의 크기는 최대 2GB이지만 교체 가능하여 더 큰 용량의 데이터를 저장하는데 무리가 없다. 파일에 저장되는 데이터는 두 가지의 패킷형식을 지정하여, 측정데이터와 명령어로 구분한다. 측정데이터는 200ms 간격으로 전류, 전압, 전력 값을 뷰어가 인지할 수 있는 포맷으로 저장



(a) Top View



(b) Side View

그림 4 PPAM 실제 모습

Fig. 4 Actual feature of PPAM

표 3 PPAM 사양

Table 3 Specification of PPAM

Development Environment	OS	Windows7
	Language	C
	Development Tool	AVR Studio 4.12
Operating Environment	OS	Android
	Communication	Bluetooth
Appearance	Size	10.5×10.5×3.7 (cm)
	Weight	150g
Performance	Measuring Rate	20Hz, 50ms
	Update Rate	5Hz, 200ms
	Resolution	1mA
	Error	±1mA
	Allowable Current	USB-500mA DC-1A
	Communication Speed	115.2kbps
	Storage	FAT16, 2GB

된다. 명령어는 데이터의 전제유효범위를 구분하거나, 이벤트 별로 구간을 나누거나, 데이터 중간에 명령어와 함께 전송된 문자열을 삽입할 수 있다.

전원모듈은 USB 전원과 범용배터리 전원을 모두 사용하기 위해 각각의 전압조절장치를 사용하였다. 전력의 측정은 모바일 기기에 공급하는 전원에 전류센서용 정밀저항을 직렬 연결하여 저항 양단에 걸리는 전압차를 이용하여 전류를 구하면 전력을 계산 할 수 있다.

4.1.2 비교

그림 5는 PPAM과 Monsoon, Appscope를 비교한 것이다. 동일한 동작에 대하여 세 도구로 각각 측정하였다. 초기 상태에서 약 10초가 지난 시점에 GPS를 켜서 위성을 탐색한다. 세 그래프 모두 약 300mW정도 증가한 것을 볼 수 있다. 약 30초가 지난 시점에 WiFi 스캔을 시작한다. 15초 간격으로 스캔을 반복하는데 (a),(b) 그래프에서는 그 형태가 잘 나타난다. (c) 그래프에서는 WiFi가 켜질 때의 전력은 반영이 되었지만, 이후 스캔 동작에 대해서는 나타나지 않는다. (a)와 (b)는 그래프의 형태와 수치 면에서 매우 유사함을 알 수 있다. (c)는 WiFi에 대한 결과를 제외하면 유사한 동작을 한다고 볼 수 있다. 이 비교를 통해 PPAM을 측정 결과가 유용함을 알 수 있다.

4.2 실험

PPAM을 이용하면 모바일 기기의 각 센서 모듈의 동작에 따른 단위 전력을 구할 수 있다. 모듈이 동작하기 전의 전력을 측정하고, 모듈을 동작시킨 후의 전력을 측정하여 비교하는 것이다. 이 방법을 이용하여 NexusOne

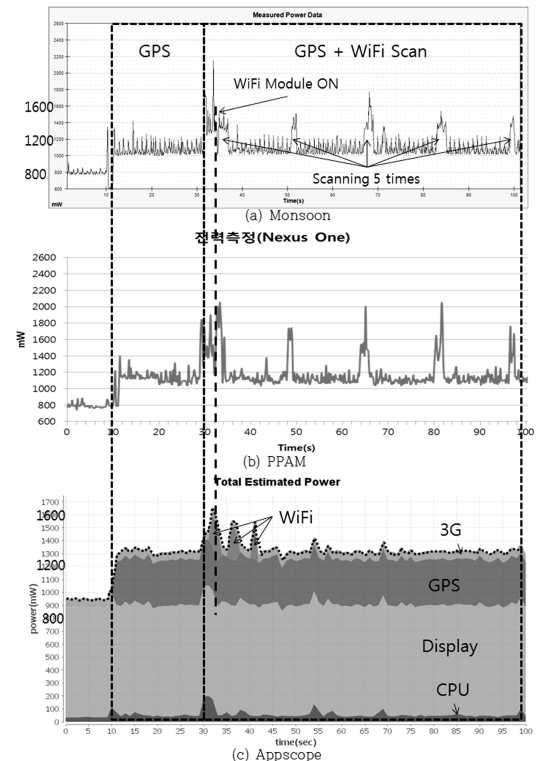


그림 5 Monsoon, Appscope과 PPAM의 전력 측정 그래프 비교

Fig. 5 Comparison among graphs of Monsoon, Appscope and PPAM

과 Nexus4의 모듈별 단위 전력을 구하는 실험을 진행한다.

4.2.1 실험환경

실험에 사용한 모바일 기기는 구글의 레퍼런스 기기인 NexusOne과 Nexus4이다. 메모리의 사용량과 프로세서의 사용량은 전력에 영향을 준다. 그러므로 가급적 실험 외적인 변수가 발생하지 않도록 정식 배포된 OS를 사용한다. NexusOne은 안드로이드 2.3 진저브레드를 사용하고, Nexus4는 안드로이드 4.3 젤리빈을 사용한다. 젤리빈부터는 안드로이드 자체적으로 위치를 탐색하는 서비스인 GoogleLocationManager가 백그라운드에서 실행되는데, 이것은 30초에 한번씩 WiFi를 사용하여 위치를 탐색한다. WiFi 모듈 역시 측정 대상 중 하나이므로 이 서비스를 강제종료시킨다.

```
RESET2013/09/30
22:07:45
0
0
$WRRRT@22:07:59
$START@22:08:10
$MSGSTR#TEST$WRRRT@22:08:30
$SUBSTR1#PART1$WRRRT@22:09:11
$SUBEND1#PART1END$WRRRT@22:09:45
$SUBSTR2#PART2$WRRRT@22:10:39
$SUBEND2#PART2END$WRRRT@22:11:08
$MSGEND#TESTEND$WRRRT@22:11:31
$STOP@22:11:38
```

(a) 통신내용

(a) Message

	A	B	C	D	E
1	2013-09-30				
2	22:07:45				
3					
4	&IS	RealTime-22:07:59		IS*	
5	&IS	RealTime-22:08:10		IS*	
6	&MD		349 4956	846 MD*	
80	&MD		349 4956	1730 MD*	
81	&IS	TEST	STR	IS*	
82	&MD		349 4956	1730 MD*	
289	&MD		368 4956	1826 MD*	
290	&IS	PART1	\$1STR	IS*	
291	&MD		358 4951	1777 MD*	
458	&MD		358 4951	1823 MD*	
459	&IS	PART1END	\$1END	IS*	
460	&IS		1800	END	IS*
461	&MD		358 4956	1777 MD*	
727	&MD		341 4956	1693 MD*	
728	&IS	PART2	\$2STR	IS*	
729	&MD		351 4956	1718 MD*	
877	&MD		346 4956	1718 MD*	
878	&IS	PART2END	\$2END	IS*	
879	&IS		1708	END	IS*
880	&MD		346 4951	1717 MD*	
994	&MD		341 4956	1693 MD*	
995	&IS	TESTEND	END	IS*	
996	&IS		1764	END	IS*
997	&MD		341 4956	1693 MD*	
1059	&MD		346 4956	1706 MD*	
1060	&IS	RealTime-22:11:38		IS*	

(b) 측정데이터 분석화면

(b) Measurement data analysis screen

그림 6 모바일 기기와 PPAM의 통신내용 및 측정데이터 분석화면

Fig. 6 Communication data and Analysis screen of measurement data - between mobile device and PPAM

PPAM은 외부 전력 공급 방식의 전력 측정을 하기 때문에 배터리가 충전 중인 때는 정확한 값을 얻을 수 없다. 배터리의 충전이 끝나면, “설정 → 휴대전화 정보 → 상태 → 배터리 상태” 항목은 “충전됨”으로 바뀌는데 이때는 BMU가 배터리로 가는 전력을 차단하고 외부에서 들어오는 전력에 의해 동작하게 된다.

디스플레이는 전력 사용량에 있어서 중요한 부분을 차지하지만 실험의 목적은 센서 모듈의 단위 전력을 구하는 것이기 때문에 화면의 밝기는 최저치로 하고, 절전 모드로 전환되지 않도록 설정한다.

4.2.2 측정 및 분석

그림 6을 보면 (a)에서 RESET2013/09/30, 22:07:45라고 되어 있고, (b)에서 A1에 2013-09-30, A2에 22:07:45라고 되어있다. PPAM이 시작되고 SD메모리에 파일 생성 후 시간을 기록한 것이다. \$WRRRT@ 명령에 의해 파일의 4번 행에 현재 시간을 기록하고, 모바일 기기에 22:07:59의 시간을 피드백 했다. 6번 행에서 부터 \$START@ 명령에 의해 측정을 시작하여 데이터 저장 이 진행된 것을 알 수 있다. 1060번 행에서 \$STOP@ 명령을 받는 22:11:38까지 208초간 측정이 되어 모두 1040개의 데이터가 있어야한다. 분석화면에서는 6번 행에서 1059번 행까지 1054개의 행이 있다. 이중 통신내용을 보면 측정 구간 구분을 위한 명령이 6회, 구간 정보 저장이 3회, 시간확인이 6회 진행되었다. 그래서 총 1039개의 행에 데이터가 저장되었다. 초단위로 구분되어 4개의 허용오차가 존재할 수 있기 때문에, 안정적인 측정과 저장이 되었음을 알 수 있다. 구간을 위한 명령을 보면 995번 행에 &IS,TESTEND,END,IS*라 되어있고, 이것은 \$MSGEND#TEST@, TEST구간의 구간분석중단 명령에 의해 저장된 것이다. 구간분석이 끝나면 구간에 대한 평균전력이 아래 행에 저장된다.

측정은 세 개의 모듈을 대상으로 한다. GPS와 WiFi, 가속도 센서는 위치기반 서비스에 사용하는 센서들이다. 각각에 대해 살펴보면 GPS는 위성을 스캔하는 상태와 위성으로부터 데이터를 수신하는 상태로 나눌 수 있다. WiFi는 AP와 연결 또는 미연결 상태, AP를 탐색하는 상태로 나눌 수 있다. 가속도 센서는 안드로이드에서 Normal, UI, Game, Fastest 모드로 구분이 되고, Normal에서 Fastest로 갈수록 업데이트 주기가 짧다. 이 중에서 업데이트 주기에 따른 차이를 알아보기 위해 Normal과 Game을 측정한다.

4.2.3 결과분석

그림 7은 PPAM을 이용하여 측정한 결과 그래프이다. 이 그래프를 통해 모듈의 소비 전력이 동작에 따라 크게 차이가 나고, 그 차이는 일정한 패턴을 보인다는 것을 알 수 있다. 표 4는 측정 결과를 분석하여 알아낸

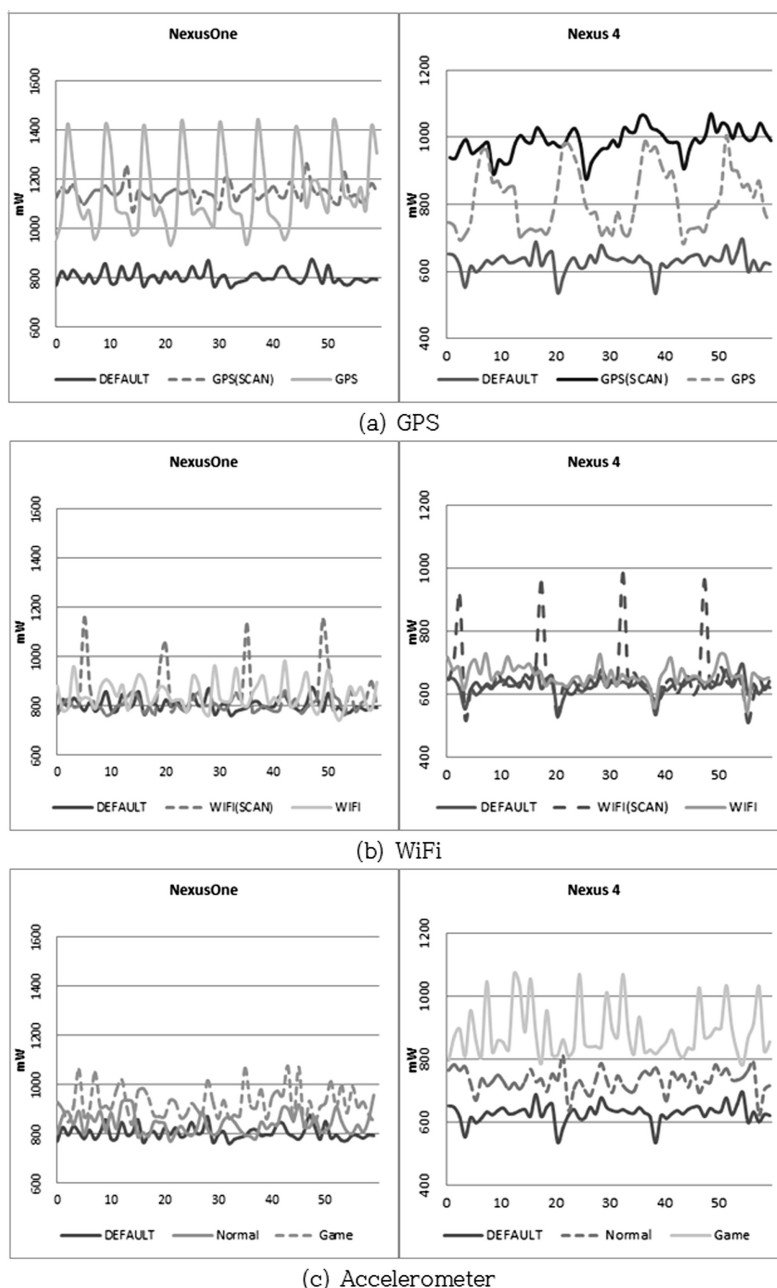


그림 7 PPAM으로 측정한 NexusOne과 Nexus4의 모듈별 전력 사용 그래프

Fig. 7 Power consumption graphs depending on NexusOne and Nexus4 measuring with PPAM

기기의 모듈 상태별 단위 전력을 표로 작성한 것이다.

WiFi와 가속도 센서의 경우 NexusOne과 Nexus4가 동일한 패턴을 보이면서 그 값의 차이가 있다. GPS의 경우에는 같은 상황에서 두 패턴에 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 NexusOne은 미국의 위성항법

시스템인 GPS 위성만 수신 가능한 모듈을 사용했고, Nexus4는 러시아의 위성항법 시스템인 글로나스(GLONASS) 위성도 병용하는 모듈을 사용하여 그 차이가 발생한다.

GPS의 동작은 위성 스캔 상태와 수신 상태, 대기 상태로 나눌 수 있다. 위성 스캔 상태는 위성을 찾고 있는

표 4 NexusOne과 Nexus4의 모듈 상태별 단위전력
Table 4 Unit power depending on module state of Nexus-One and Nexus4

Unit Power	NexusOne	Nexus4
GPS SCAN(mW/s)	330	330
GPS (mW/usage)	2400	2150
GPS Wait(mW/s)	-	100
WiFi Connect(mW/s)	25	26
WiFi Disconnect(mW/s)	1.5	2.2
WiFi SCAN(mW/usage)	350	430
ACCEL normal(mW/s)	43	120
ACCEL game(mW/s)	122	258

중으로 일정한 전력이 소모된다. 수신 상태는 NexusOne의 경우 1회에 약 7초 정도가 소요되고, 7초간 추가로 사용하는 전력은 2400mW이다. Nexus4는 수신 상태에서 두 단계의 전력 구간이 있는데, 이것은 항상 나타나는 현상이기 때문에 하나의 구간으로 보고 1회 수신 전력을 구하면 약 9초 정도의 시간에 2150mW이다. 그리고 Nexus4의 경우에는 NexusOne과 다르게 대기 구간이 존재하는데 이 구간은 초당 100mW를 소모한다.

WiFi의 동작은 AP 스캔 상태와 연결 유지 상태, 미 연결 상태로 나눌 수 있다. 데이터의 전송에도 추가 전력을 사용하지만 위치 정보에 초점을 맞추었을 때, 데이터 전송에 대한 추가 전력은 고려치 않아도 된다. 이 중 많은 전력을 사용하는 상태는 AP 스캔 상태이다. AP 스캔은 약 1초의 시간이 걸리고 스캔하는 동안 추가로 350mW, 430mW를 사용한다. WiFi 모듈이 켜져있지만 연결이 되지 않았을 때에 비해 연결이 되었을 때는 약 24mW를 추가로 소모하는데 이것은 연결을 유지하기 위한 전력 소모이다.

가속도 센서는 선택한 모드에 의해 업데이트 속도가 달라지며, 그에 따라 사용하는 전력이 바뀐다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 NexusOne과 Nexus4의 가속도 센서의 전력 값이 차이가 난다는 것을 알 수 있는데, 이것은 GPS와 마찬가지로 커버하는 센서의 종류가 차이 나기 때문이다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 기존의 모바일 기기 전력 측정 방식에 대해 알아보고 모바일 기기 특유의 이동성을 고려한 포터블 전력 측정 및 분석 도구를 개발하였다. 개발한 도구는 다음의 특징들을 가진다.

첫째, 이동 중 측정이 가능하고, 측정이 용이한 설계로 모바일 기기의 실제 동작환경에서 측정이 가능하다. 이것은 모바일 기기를 정해진 시나리오대로 사용하면서 측정이 가능하게 하여, 동일한 기능을 가진 여러 어플리

케이션의 전력 소모량을 비교할 수 있게 해준다.

둘째, 모바일 기기에 추가적인 조작을 하지 않고, USB 충전 선을 이용하여 외부에서 공급되는 전력을 측정한다. 이것은 모든 형태의 모바일 기기에 이식이 가능하고, 모든 모듈에 대해 측정이 가능하도록 한다.

셋째, 모듈 사용에 대한 단위 전력을 분석할 수 있다. 이것은 모바일 기기의 에너지 모델을 생성이 가능하게 하여, 모바일 기기의 사용에 따른 전력 사용량을 예측할 수 있게 한다.

향후, 상황인지 서비스에 대한 어플리케이션별 에너지 등급과 기기별 에너지 등급을 나눌 수 있는 연구를 진행하는데 PPAM의 세 가지 특징이 도움이 될 것이다. 또한 모델 기반의 에너지 분석을 통하여 상황인지 서비스의 효율적인 전력사용에도 기여할 것이다.

References

- [1] J. Kim, "Development of Context-Aware System for Autonomous Execution of Mobile Application," Master's Thesis, University of Ajou, 2013.
- [2] K. Kim, S. Cho, "Context awareness cell phone technology development trend," *IITA Weekly technology trends*, pp.26-33, Jan. 2007.
- [3] J. Shin, J. Kim, H. Choi, S. Park, "Context Information Based Application Recommend System Using Application Information," *Proc. Korea Computer Congress 2011*, vol.38, no.1, pp.38-40, Jun. 2011.
- [4] M. Lee, J. Lee, S. Park, "A Hierarchical Mobile Context Model and User Context Inference Methods based on Smart Phones," *Proc. Software Engineering Society*, vol.24, no.1, pp.19-26, Mar. 2011.
- [5] Y. Kim, S. Cho, "Personalized Destination Prediction by Integrating Piace Movement Pattern and Moving Path Model," *Proc. KIISE 2012 Autumn Conference*, vol.39, no.2(B), pp.136-138, Nov. 2012.
- [6] S. Nath, "ACE: Exploiting Correlation for Energy-Efficient and Continuous Context Sensing," *Proc. 10th ACM MobiSys*, pp.29-42, 2012.
- [7] J. Paek, J. Kim, R. Govindan, "Energy-Efficient Rate-Adaptive GPS-based Positioning for Smartphones," *Proc. 8th ACM MobiSys*, pp.299-314, 2010.
- [8] J. Kang, S. Seo, J. Hong, "Personalized Battery Lifetime Prediction for Mobile Devices based on Usage Patterns," *Proc. Journal of Computing Science and Engineering*, vol.5, no.4, pp.338-345, Dec. 2011.
- [9] N. Anne, V. Muthukumar, "Energy Aware Scheduling of Aperiodic Real-Time Tasks on Multiprocessor Systems," *Proc. Journal of Computing Science and Engineering*, vol.7, no.1, pp.30-43, Mar. 2013.
- [10] Z. Zhuang, K. Kim, and J. Singh, "Improving energy efficiency of location sensing on smartphones," *Proc. 8th MobSys*, pp.315-330, 2010.

- [11] Monsoon Solutions, Inc., <http://www.monsoon.com/LabEquipment/PowerMonitor>
- [12] L. Zhang, B. Tiwana, Z. Qian, Z. Wang, "Accurate Online Power Estimation and Automatic Battery Behavior Based Power Model Generation for Smartphones," *Proc. 8th IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis*, pp.105-114, 2010.
- [13] C. Yoon, D. Kim, W. Jung, C. Kang, H. Cha, "AppScope: Application Energy Metering Framework for Android Smartphone using Kernel Activity Monitoring," *Proc. 2012 USENIX Annual Technical Conference*, p.36, 2012.
- [14] Battery drain analyzer monitor,
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.msd.battery.indicator>
- [15] W. Jung, C. Kang, C. Yoon, D. Kim, H. Cha, "DevScope: A Nonintrusive and Online Power Analysis Tool for Smartphone Hardware Components," *Proc. 8th IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis*, pp.353-362, 2012



최 기 용

2012년 아주대학교 전자공학부 학사. 2014년 아주대학교 전자공학과 석사. 2014년~현재 아주대학교 전자공학과 박사과정. 관심분야는 임베디드소프트웨어, 모바일 저전력 상황인지



이 정 원

1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사. 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사. 1995년~1997년 LG종합기술원주임연구원. 2003년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사. 2003년~2006년 이화여자대학교 컴퓨터학과 BK교수, 전임강사(대우). 2006년~현재 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 부교수. 관심분야는 임베디드소프트웨어, 모바일 저전력 상황인지, 온톨로지, SOA