

스마트 비디오 디바이스를 위한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템

An Energy Harvesting and Profiling System for Smart Video Devices

강두식 · 김준식 · 박건우 · 이명진*
한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

Doo-sik Kang · Jun-sik Kim · Keon-woo Park · Myeong-jin Lee*

School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 10540, Korea

[요 약]

본 논문에서는 배터리 외에 별도의 전력원이 없거나 전력이 부족한 사물인터넷 환경에서 스마트 비디오 디바이스에 에너지 공급을 위한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템을 설계한다. 에너지 하비스팅 모듈은 태양전지판에서 하비스팅 된 태양광 에너지를 스마트 비디오 디바이스에 전달하고, 에너지 프로파일링 모듈은 디바이스 내부 배터리 유출 전류와 전압, 프로세스 소비 에너지를 측정하고 이를 이용하여 에너지 하비스팅 모듈로부터 디바이스 내부로 유입된 에너지와 디바이스 내부 소비 에너지를 계산한다. 실제 환경에서 측정된 하비스팅 된 에너지를 기상청이 제공하는 지역 일사량으로부터 계산한 에너지와의 비교를 통해 설계한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템의 적합성을 검증한다. 설계한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템은 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스나 사물인터넷용 센서 설계에 활용될 수 있다.

[Abstract]

In this paper, an energy harvesting and profiling system is designed for smart video devices in internet of things environments without dedicated power source. The energy harvesting module provides the harvested energy from solar panel to the smart video device. The energy profiling module measures the battery outflow current and the battery voltage of the smart video device and the consumed energy of processes, and calculate the harvested energy from the energy harvesting module to the smart video device and the total energy consumption of the smart video device. The accuracy of the harvested energy measured by the device energy profiling module is validated by comparing with the calculated energy using the regional solar radiation provided by Korea Meteorological Administration. Energy harvesting data from the designed energy harvesting and profiling system can be used to design the perpetual operation of smart video devices or Internet of Things sensors.

Key word : Smart video device, Energy-harvesting, Energy-profiling.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.99>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 20 December 2016; **Revised** 2 February 2017

Accepted (Publication) 17 February 2017 (28 February 2017)

***Corresponding Author; Myeong-jin Lee**

Tel: +82-2-300-0421

E-mail: artistic@kau.ac.kr

I. 서론

사물인터넷 (IoT; internet of things) 세상이 도래하면서 지능형 영상 분석과 네트워킹 기능을 내장한 스마트 비디오 디바이스들이 계속해서 개발되고 있다. 스마트 비디오 디바이스는 응용에 따라 영상분석 및 전송, 디바이스 간 연계와 클라우드 컴퓨팅 기반의 공동 정보 처리 등을 수행한다 [1]-[2]. 사물인터넷 환경에서 스마트 비디오 디바이스는 전력 공급원에 따라 전력 인프라 기반 전력 공급, 배터리와 같은 주기적 재충전을 통한 제한된 전력 공급, 전력 공급이 없는 환경에 위치할 수 있다. 따라서 스마트 비디오 디바이스는 전력 공급 유형을 고려하여 구조 및 동작 제어 알고리즘이 설계되어야 한다.

스마트 비디오 디바이스의 주된 응용 분야는 재난, 안전, 시설 관리, 치안 등의 공공보안이다. 공공보안용 스마트 비디오 디바이스는 임의 시점에 발생할 수 있는 사건들을 상시 모니터링하기 위해 입력된 영상 프레임들의 캡처, 압축, 네트워킹 등을 수행해야 한다. 스마트 비디오 디바이스는 일반적인 저 대역폭의 1차원 센서 노드들에 비하여 전력 소모가 크기 때문에 지속적으로 전력을 공급해 줄 수 있는 환경 제공이 필요하다. 향후 스마트 비디오 디바이스는 안정적인 전력 공급이 어려운 무선 통신 환경에서 동작할 가능성이 높다. 따라서 스마트 비디오 디바이스를 위해 주변 환경으로부터 에너지를 수집할 수 있는 에너지 하비스팅 기능이 필요하다.

스마트 비디오 디바이스에 에너지를 공급할 수 있는 자연 에너지원으로는 태양광, 태양열, 풍력 에너지 등이 있다. 하루 동안 하비스팅 할 수 있는 에너지양, 기상 변화에 따른 하비스팅 에너지양의 변화, 하비스팅 시스템의 폼팩터 등을 고려하였을 때 태양광 에너지가 스마트 비디오 디바이스의 에너지원으로 가장 적합하다 [3].

전력 공급이 제한적인 모바일 디바이스를 위한 소비 에너지 절감에 대한 연구들이 수행되었다 [4]-[6]. Donohoo는 머신러닝 기법들을 이용하여 사용자의 시공간상의 모바일 디바이스 사용 패턴을 인지하고, 에너지를 절약하기 위한 디바이스 설정 기법을 제안하였다 [4]. Li는 에너지를 많이 소비하는 광, 3차원 가속도, GPS 센서들의 상태 추정을 토대로 센서 값이 안정적인 경우 센싱 빈도를 낮춤으로서 에너지 소비를 감소시키는 방식을 제안하였다 [5]. Lee는 임베디드 프로세서가 지원하는 SIMD (single instruction multiple data) 명령어 집합을 사용하여 모바일 환경에서 지능형 영상분석 연산을 병렬화 함으로써 소비 에너지 절감이 가능함을 보였다 [6]. 이들 연구는 모바일 환경의 모바일 디바이스나 센서 노드들의 소비 에너지 절감에 효과적이거나, 전력 공급이 없거나 부족한 환경에서 동작 가능한 스마트 비디오 디바이스 설계에 적용하기 어렵다.

전력 공급이 없거나 부족한 환경에 설치된 에너지 하비스팅 기반 스마트 비디오 디바이스가 동작하기 위해서는 배터리에 입력되는 하비스팅 에너지, 배터리 잔량, 응용별 요구 품질 등을 고려하여 디바이스의 적응적인 동작 제어가 이루어져야 한다.

일정 수준 이상의 응용 품질을 제공하기 위해서는 현재의 배터리 잔여 에너지와 가까운 미래의 예측된 하비스팅 에너지를 이용하여 디바이스 동작 제어가 이루어져야 한다. 이를 위해서 태양광 기반 에너지 하비스팅 모듈이 연결된 스마트 비디오 디바이스에서 배터리에 유입되는 하비스팅 에너지와 배터리에서 유출되는 디바이스 소비 에너지 파악이 필요하다.

전력 공급이 없는 환경에서 에너지 하비스팅 기반 임베디드 시스템의 구조 및 에너지 제어에 대한 연구가 수행되었다 [7]-[8]. Jeong은 에너지 하비스팅 기반 스마트 비디오 디바이스의 구조를 제안하고, 디바이스의 에너지 소비 모델을 수립하였다 [7]. 또한, 디바이스 프로토타입을 이용한 에너지 소비 모델 계수를 추정하였다. Liu는 주변 환경으로부터 하비스팅 된 에너지 양을 고려하여 에너지 소비 절감을 위한 태스크 스케줄링과 DVFS (dynamic voltage frequency scaling) 제어 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 실시간 태스크 수행 및 에너지 저장 용량을 줄일 수 있음을 보였다 [8].

기존 연구들은 사물인터넷 환경의 에너지 하비스팅 기반 스마트 비디오 디바이스 설계를 위한 초기 연구로서, 영상녹화 등과 같은 실제 응용 목적에 적합한 에너지 하비스팅 시스템 설계와 적정 화질 수준에서 지속가능한 디바이스 동작제어를 위한 연구는 수행되지 않았다 [4]-[8]. 본 논문에서는 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스 설계를 위한 첫 단계의 연구로 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템을 설계한다. 제2장에서는 스마트 비디오 디바이스에 에너지를 공급하는 태양광 기반 에너지 하비스팅 모듈을 설계한다. 제3장에서는 설계한 에너지 하비스팅 모듈로부터 유입되는 에너지를 수치화할 수 있는 에너지 프로파일링 모듈을 설계한다. 제4장에서는 측정된 에너지 프로파일을 한국기상청에서 제공하는 태양 복사 에너지 자료와 비교하여 설계한 에너지 하비스팅 모듈 및 프로파일링 모듈을 검증하고, 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

II. 태양광 에너지 하비스팅 모듈 설계

본 장에서는 별도의 전력 공급원이 없거나 전력이 부족한 사물인터넷 환경에서 스마트 비디오 디바이스에 에너지 공급을 위한 태양광 에너지 하비스팅 모듈을 설계한다.

2-1 에너지 하비스팅 모듈에 의한 하비스팅 에너지

태양광 에너지 하비스팅을 위해서는 일조가 존재하는 환경이 요구되며, 하비스팅 에너지양은 일사량에 비례한다. 오전 7시부터 오후 7시까지 일조가 지속된다고 가정할 때, 태양광 에너지 발전은 구름 없는 맑은 날씨에 대한민국의 기준 12-13시에 최대 출력을 가지며 전력 변환 효율을 100%로 가정 시 태양전지 단위 면적당 출력은 $1kW/m^2$ 로 계산된다 [9]. 태양광 하비스팅 에너지양은 일시적인 날씨 변화를 배제하면 최대출력 시간 구간으로부터 시간차가 날수록 감소하며 태양전지의 면적과

전력변환 효율에 비례한다. 태양전지 면적에 따른 태양전지 하비스팅 에너지 P_M (Wh)은 다음과 같이 계산한다.

$$P_M = ke_{sp}A_{sp}T_{avg} \quad (1)$$

여기에서 k 는 단위면적당 발전전력 ($1kW/m^2$), e_{sp} 는 태양전지 효율, A_{sp} 는 태양전지의 면적(m^2), T_{avg} 은 하루 유효 발전 시간 (hour)이다. 실험적으로 구름이 없는 맑은 날에 하루 동안 하비스팅한 단위 면적당 발전량은 태양전지 최대 출력으로 4시간동안 발전한 양과 유사하여 본 논문에서는 하루 유효 발전 시간 T_{avg} 는 4시간으로 고정한다.

2-2 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스를 위한 태양전지 면적 및 배터리 용량 설계

스마트 비디오 디바이스는 기능면에서 영상 프레임 캡처, 영상 압축, 압축 비트열 전송 등으로 구성된다. 본 연구의 이전 연구에서 그림1과 같이 이미지 센서, 비디오 부호기, 네트워크 제어기를 내장한 스마트 비디오 디바이스 구조를 제안하고 프로토타입을 스마트폰 기반으로 구현하였다 [7]. 또한, 영상 화질과 에너지 소비에 영향을 주는 부호화 및 시스템 제어계수들을 이용한 에너지 소비 모델을 수립하고 검증하였다. 에너지 소비 모듈들의 제어계수들로 이미지 센서와 비디오 부호기의 화면율 r_M , 비디오 부호기의 양자화 계수 qp , 내장 프로세서의 동작 주파수 f 를 정의하였다. 일정 범위의 화면율과 양자화계수에 대해 스마트 비디오 디바이스의 소비 전력은 내장 프로세서의 동작 주파수가 500 MHz이면 1600-2400 mJ/s, 1200 MHz이면 1800-2800 mJ/s로 측정되었다.

본 연구에서는 Jeong의 연구결과를 토대로 동일한 스마트 비디오 디바이스 플랫폼에서 일정 수준 이상의 화질로 입력 영상을 부호화하는 디바이스의 하루 단위 필요 에너지량을 계산하고, 이를 만족할 수 있는 에너지 하비스팅 모듈을 설계한다. 또한, 지속 가능한 동작을 위해 하비스팅 에너지를 저장할 수 있는 배터리 용량을 결정한다. 급격한 기상 변화가 없는 경우 하루 단위 필요 에너지를 태양전지를 이용하여 하비스팅 할 경우 스마트 비디오 디바이스는 지속 동작이 가능하다고 가정한다.

내장 프로세서의 동작 주파수를 500-1200 MHz 범위로 설정하였을 때, 스마트 비디오 디바이스의 동작에 필요한 하루 단위 필요 에너지량은 제어계수에 따라서 38.9-67.2 Wh이다. 본 논문에서 사용한 Jeong의 플랫폼 상의 에너지 소비모델에 따르면 스마트 비디오 디바이스가 1200 MHz, 10 fps, 50 kbits/frame로 설정되어 동작 시 매 시간 2.8 Wh의 에너지를 소비한다 [7].

본 논문에서는 스마트 비디오 디바이스의 하루 단위 필요 에너지량을 발전할 수 있는 태양전지판의 면적을 계산한다. 태양전지판에 의한 발전 환경 조건은 구름이 없는 맑은 날로 가정하며, 기상 변화에 따른 발전 에너지양 저하는 후속연구인 디바이스의 동작 및 에너지 제어 시 고려할 예정이므로 본 설계에서는

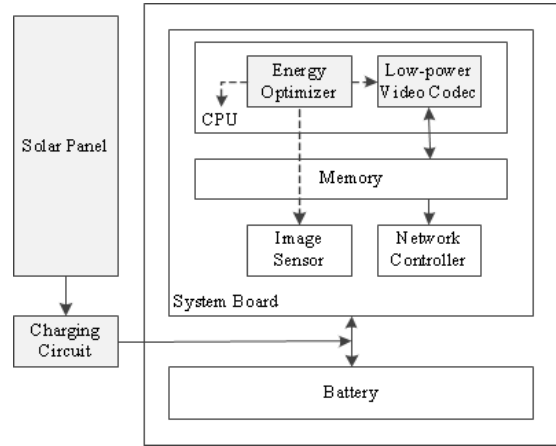


그림 1. 사물인터넷 환경을 위한 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스 구조 [7]

Fig. 1. Architecture of a perpetual smart video device in IoT environments [7].

고려하지 않는다.

본 연구에서 사용한 태양전지의 규격은 표 1과 같고, 태양전지 정보 사이트 PV Education의 태양전지 효율 계산 방식을 이용 시 9.85%의 효율을 얻었다 [10]. 앞서 계산된 하루 평균 요구되는 태양전지 발전량(Wh)으로부터 태양전지 효율이 9.85%일 경우 요구되는 태양전지 면적은 식 (1)로부터 0.098-0.171 m^2 으로 계산된다. 따라서 표 1의 태양전지 모듈 1개의 넓이 0.1015 m^2 가 이 범위 안에 포함되어 이를 최종 선정하였다.

스마트 비디오 디바이스 내장 배터리의 잔여 에너지와 향후 하비스팅 될 에너지양을 기반으로 디바이스 동작의 최적화가 필요하다. 본 연구에서는 스마트 비디오 디바이스를 위한 에너지 하비스팅 모듈 설계만을 목표로 한정한다. 스마트 비디오 디바이스의 동작은 일조에 따른 에너지 하비스팅 가능 구간과 불가능 구간에 대해 부호화 및 시스템 제어계수들을 고정한다. 에너지 하비스팅 구간 동안 스마트 비디오 디바이스는 소비 에너지보다 하비스팅 에너지가 많아야 하고, 그 차이인 잔여 에너지는 배터리에 누적하여 저장되며 일출 전과 일몰 후와 같이 에너지 하비스팅 불가능 구간의 디바이스 동작을 위해 사용한다. 하비스팅 불가능 구간에서 사용할 에너지 저장을 위해 디바이스의 배터리 용량 계산이 필요하다. 사용한 디바이스 배터리 전압 3.7 V에 대해 하루 평균 하비스팅 에너지가 40 Wh일 때 에너지 하비스팅 구간의 제어계수 1200 MHz, 10 fps, 50 kbits/frame으

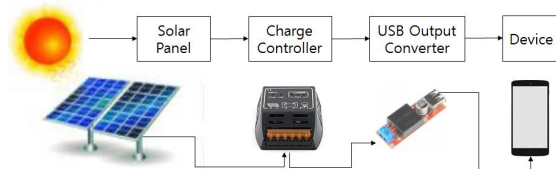


그림 2. 설계한 에너지 하비스팅 모듈
Fig. 2. Designed energy harvesting module.

표 1. 사용한 태양전지 모듈 특성

Table 1. The feature of a solar panel.

Model	PLM-010M/12
Module Size	0.1015 m ²
Maximum Output	10 W
Maximum Voltage	17.6 V
Maximum Current	0.57 A
Open-circuit Voltage	22.6 V
Short-circuit Current	0.61 A
Output Tolerance	+3%

로 동작하는 경우 디바이스는 하루 유효 발전 구간인 4 시간 동안 11.2 Wh를 사용하고, 28.8 Wh이 잔여 에너지로서 저장되어야 한다. 잔여 에너지를 모두 저장하기 위한 배터리 용량은 배터리 에너지 저장 효율을 고려하지 않았을 때 7800 mAh이다. 요구 배터리 용량은 스마트 비디오 디바이스의 동작구간별 화질 요구 조건, 평균 일조시간 및 일사량, 동작제어 알고리즘 등에 따라 달라질 수 있다.

2-3 설계된 에너지 하비스팅 모듈 구현

설계한 에너지 하비스팅 모듈은 그림 2와 같이 태양전지, 태양전지 충전 제어기, USB 컨버터로 구성된다. 설계에 사용된 태양전지는 표 1의 규격을 갖는다. 스마트 비디오 디바이스로는 Nexus 5 스마트폰을 사용하였다. 에너지 하비스팅 모듈은 스마트 비디오 디바이스의 배터리 단자에 연결된다. 태양전지로부터 스마트 비디오 디바이스 배터리로 유입되는 전류의 일시적 변동을 줄이고, 과충전을 보호하기 위해 충전 제어기를 태양전지 출력단에 연결한다. 충전 제어기의 전압을 스마트폰의 적정 충전 전압으로 변환하기 위해 USB 컨버터를 사용한다.

III. 하비스팅 에너지 프로파일링 모듈 설계

스마트 비디오 디바이스의 지속 가능하고 화질의 변동이 적은 동작 제어를 위해 현재 배터리의 잔여 에너지와 하비스팅 에너지 정보가 필요하다. 이를 위해서 디바이스 내부 동작과 무관하게 배터리 잔여 에너지와 하비스팅 에너지량을 일정 주기 단위로 측정할 수 있어야 한다. 본 장에서는 에너지 하비스팅 모듈로부터 배터리로 충전되는 하비스팅 에너지량을 측정하기 위한 에너지 프로파일 시스템을 설계한다.

스마트 비디오 디바이스의 에너지 입출력은 디바이스 내장 배터리를 중심으로 이루어지며 그림 3과 같다. 배터리는 에너지 하비스팅 모듈 (EHM; energy harvesting module)로부터 전류

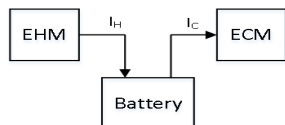


그림 3. 배터리 중심의 에너지 입출력

Fig. 3. Energy input-output based on the battery.

가 유입 되고, 에너지 소비 모듈 (ECM; energy consumption module)에게 전류를 유출한다. 스마트 비디오 디바이스 내장 배터리의 유출 전류는 다음과 같다.

$$I_B = I_C - I_H, \tag{2}$$

여기에서 I_C 와 I_H 는 에너지 소비 모듈에 의한 유출 전류와 에너지 하비스팅 모듈에 의한 유입 전류를 나타낸다.

일정 주기 T_s 마다 스마트 비디오 디바이스 내장 배터리의 전압과 전류를 샘플링하는 경우 n 번째 샘플 구간의 배터리의 유출 에너지는 다음과 같이 계산된다.

$$E_B[n] = V_B[n] \cdot I_B[n] \cdot T_s, \tag{3}$$

여기에서 $V_B[n]$ 과 $I_B[n]$ 은 n 번째 샘플의 배터리 전압과 유출 전류를 나타낸다.

스마트 비디오 디바이스에서 n 번째 샘플 구간의 에너지 소비 모듈에 의한 소비 에너지는 디바이스에서 구동되는 프로세스들의 소비 에너지의 총합으로 다음과 같다.

$$E_C[n] = \sum_{i=1}^{K_n} e_i[n], \tag{4}$$

여기에서 K_n 과 $e_i[n]$ 은 n 번째 샘플 구간에서 디바이스에서 구동되는 프로세스 개수와 i 번째 프로세스의 소비 에너지를 나타낸다.

스마트 비디오 디바이스에서 n 번째 샘플 구간까지 누적된 하비스팅 에너지량은 식 (3), 식 (4)을 이용하여 다음과 같이 계



그림 4. 안드로이드 시스템의 프로세스별 소비 에너지

(a) 실행중인 프로세스 (b) 실행 프로세스별 소비 에너지

Fig. 4. Energy consumption of android system processes (a) list of running processes (b) energy consumption of each running process.

산한다.

$$E_H[n] = - \sum_{m=1}^n E_B[m] + \sum_{m=1}^n E_C[m]. \quad (5)$$

그림 4는 PowerTutor 어플리케이션을 이용하여 안드로이드 스마트폰에서 구동되는 모든 프로세스들의 에너지 소비량을 보여준다 [11, 12]. 각 프로세스는 하드웨어 입출력 장치를 구동하거나 중앙처리장치 연산 기능을 활용한다. 하비스팅 에너지 계산을 위해 오픈소스 PowerTutor 어플리케이션의 프로세스별 소비 에너지 계산 함수와 Battery Manager를 이용하여, 식 (4)와 같이 모든 프로세스들이 소비한 에너지를 누적하여 디바이스의 소비 에너지를 계산한다 [13].

그림 5은 제작된 에너지 하비스팅 프로파일러 모듈에 의해 일반 사용 시와 USB 충전 시 측정된 시간, 배터리 레벨, 배터리 전압, 배터리 유출 전류, 유출 에너지를 보여준다. 사용된 안드로이드 스마트폰인 Nexus 5에서 측정되는 전류의 특성은 전류 유출 시 양수, 유입 시 음수로 표현되며, 이 특성에 따라 에너지 또한 유출과 유입 시 동일한 부호를 갖는다.

IV. 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템 검증

본 장에서는 설계한 태양광 에너지 하비스팅 모듈이 하비스팅한 에너지양의 정확도를 검증하기 위해 하비스팅 에너지 프로파일링 모듈로 측정한 하비스팅 에너지와 한국 기상청이 공개하는 일사량 데이터를 토대로 계산한 에너지를 비교한다 [14].

4-1 하비스팅 에너지 측정 및 검증 대상

when / level / mV / mA / energy / .. device :	when / level / mV / mA / energy / .. device :
hammerhead	hammerhead
2016/3/3 / 20-32-11 / 63.0 / 3920 / 365 / 0.2862J	2016/3/3 / 20-35-3 / 64.0 / 4001 / 148 / -0.1184J
2016/3/3 / 20-32-11 / 63.0 / 3920 / 345 / 0.2736J	2016/3/3 / 20-35-3 / 64.0 / 4001 / 8 / -0.0064J
2016/3/3 / 20-32-11 / 63.0 / 3920 / 344 / 0.2697J	2016/3/3 / 20-35-4 / 64.0 / 4001 / 202 / -0.1616J
2016/3/3 / 20-32-11 / 63.0 / 3920 / 253 / 0.1984J	2016/3/3 / 20-35-4 / 64.0 / 4001 / 253 / -0.2025J
2016/3/3 / 20-32-11 / 63.0 / 3920 / 253 / 0.1984J	2016/3/3 / 20-35-4 / 64.0 / 4001 / 265 / -0.2121J
2016/3/3 / 20-32-12 / 63.0 / 3920 / 297 / 0.2328J	2016/3/3 / 20-35-4 / 64.0 / 4001 / 265 / -0.2121J
2016/3/3 / 20-32-12 / 63.0 / 3920 / 340 / 0.2666J	2016/3/3 / 20-35-4 / 64.0 / 4001 / 260 / -0.2081J
2016/3/3 / 20-32-12 / 63.0 / 3920 / 324 / 0.254J	2016/3/3 / 20-35-5 / 64.0 / 4001 / 281 / -0.2249J
2016/3/3 / 20-32-12 / 63.0 / 3920 / 276 / 0.2164J	2016/3/3 / 20-35-5 / 64.0 / 4001 / 278 / -0.2225J
2016/3/3 / 20-32-12 / 63.0 / 3920 / 297 / 0.2328J	2016/3/3 / 20-35-5 / 64.0 / 4001 / 212 / -0.1696J
2016/3/3 / 20-32-13 / 63.0 / 3920 / 354 / 0.2775J	2016/3/3 / 20-35-5 / 64.0 / 4001 / 278 / -0.2201J
2016/3/3 / 20-32-13 / 63.0 / 3920 / 361 / 0.283J	2016/3/3 / 20-35-6 / 64.0 / 4001 / 217 / -0.1736J
2016/3/3 / 20-32-13 / 63.0 / 3920 / 480 / 0.3763J	2016/3/3 / 20-35-6 / 64.0 / 4001 / 270 / -0.2161J
2016/3/3 / 20-32-13 / 63.0 / 3920 / 258 / 0.2023J	2016/3/3 / 20-35-6 / 64.0 / 4001 / 278 / -0.2225J
2016/3/3 / 20-32-14 / 63.0 / 3920 / 252 / 0.1976J	2016/3/3 / 20-35-6 / 64.0 / 4001 / 342 / -0.2737J
2016/3/3 / 20-32-14 / 63.0 / 3920 / 203 / 0.1592J	2016/3/3 / 20-35-6 / 64.0 / 4001 / 342 / -0.2737J

그림 5. 제작된 에너지 측정 모듈의 상황 별 에너지 측정 [출력순서: 날짜, 시간, 배터리 레벨(%), 배터리 전압(mV), 배터리 유출 전류(mA), 배터리 유출 에너지(J)] (a) 일반 사용 시 (b) USB 충전 시]

Fig. 5. Energy measurement from the designed energy measurement application in the different situation [output order : date, time, battery level(%), voltage(mV), current(mA), energy(J)] (a) general case (b) USB charging case.

설계한 하비스팅 에너지 프로파일링 모듈은 일정 주기로 식 (3)의 배터리 유출 에너지 계산 함수를 호출하고, PowerTutor를 이용하여 식 (4)와 같이 총 프로세스 소비 에너지를 계산하고, 누적 하비스팅 에너지양은 식 (5)를 이용하여 계산한다. 스마트 비디오 디바이스의 지속 동작을 위한 제어를 위해서는 배터리 레벨, 예상되는 하비스팅 에너지 등을 고려하여 최대 30 fps의 화면을 실시간으로 부호화해야 한다. 따라서 하비스팅 에너지 계산 주기는 스마트 비디오 디바이스의 부호화 및 에너지 제어 정책에 따라 달라질 수 있으며, 본 프로파일러에서는 초당 5 번의 주기로 측정 하비스팅 에너지양 정보를 저장하였다.

설계된 에너지 하비스팅 모듈에서 측정된 하비스팅 에너지의 정확도를 검증하기 위해서는 실제 하비스팅이 이루어진 위치의 일사, 일조 등의 기후 관측 정보가 필요하다. 각국의 기상청 및 기상관련 연구소들은 지역별로 태양복사에너지, 풍향, 풍속, 운량 등과 같은 태양광 및 풍력 발전 등에 관련된 데이터를 공개하고 있다 [14]. 한국 기상청은 각 지역 관측소별로 매 시간별 일조시간과 누적 태양 복사 에너지양(MJ/m²) 데이터를 제공한다. 미국의 MIDC (measurement and instrumentation data center)에서는 태양 복사 에너지양 데이터를 분 단위, W/m² 단위의 누적 에너지양으로 제공하여, 본 설계 시스템의 측정 에너지와 정밀한 비교가 가능하다 [15]. 그러나 설계된 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템이 설치된 장소를 고려하여 한국 기상청에서 제공하는 일사량 자료와 비교한다. 공정한 비교를 위해 한국 기상청의 데이터를 사용한 태양 전지 면적과 태양전지의 효율을 고려한 초 단위 데이터로 변환하여 비교한다.

본 논문에서 설계한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템의 검증을 위해 스마트폰에서 단위 시간당 하비스팅 에너지를 측정하는 에너지 프로파일러 외의 다른 프로세스들의 동작은 최소화하였다. 따라서 본 논문에서는 스마트 비디오 디바이스의 영상 캡처, 압축, 전송 등은 동작시키지 않으므로, 에너지 하비스팅 및 하비스팅 에너지 프로파일링 검증을 위한 용도로는 앞의 계산결과보다 낮은 용량의 배터리를 사용하였다.

디바이스 플랫폼인 스마트폰 상에서 배터리 레벨 측정이 가능한 2500 mAh 용량의 배터리를 내장한 Nexus5 스마트폰을 사용하였다. 에너지 하비스팅이 원활한 구간에서 배터리 에너지 오버플로우가 발생할 수 있고 이로 인해 하비스팅 에너지양 측정이 제대로 이루어지지 않을 수 있으므로, 여러 대의 동일한 디바이스를 준비하여 같은 장소에서 지속적으로 교체하면서



그림 6. 08시 정각과 18시에 촬영한 태양 (2016년 2월 2일)
Fig. 6. Energy harvesting environments captured at 8 am and 6 pm. (Feb 2, 2016).

배터리가 오버플로우 되지 않는 상황의 하비스팅 에너지를 측정하였다.

비디오 캡처 및 부호화 등의 동작 없이 하비스팅 모듈 검증만을 위해 에너지 프로파일러만 디바이스 플랫폼에서 동작시켰으며 이는 식(4)의 프로세스 에너지에 포함이 되어 프로파일러 프로세스 소비 에너지도 하비스팅 에너지 계산에 포함된다.

4-2 태양광 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템 검증

설계한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템은 한국항공대학교에 설치되어 에너지 하비스팅을 수행하였다. 설치 장소에서 일조는 2016년 2월 말에 8시부터 17시 40분 까지 존재하였으며 8월에는 8시부터 18시 정각까지 존재하였다. 하비스팅된 에너지양 검증을 위해 설치 장소와 가장 가까운 서울 기상관측소의 일사 데이터와 하비스팅 에너지를 비교하였다.

두 하비스팅 에너지양 비교 시 오차 요인은 서울 기상 관측소와 측정 장소의 운량의 차이, 설치된 시스템과 기상관측소에서의 태양전지판 기준 태양광의 입사각의 차이, 고도의 차이, 사용된 태양전지판의 전기에너지 변환 효율 등이다. 그림 6은 시스템 설치 장소에서 2016년 2월 2일 08시 정각과 17시 50분에 태양의 위치를 촬영한 사진이며 그림 7은 설치된 에너지 하비스팅 시스템이다.

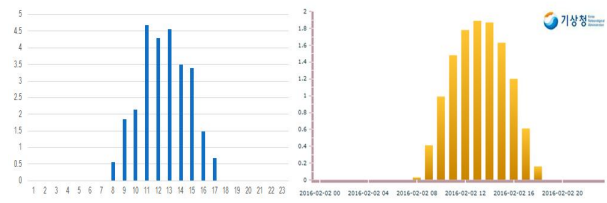
설계된 하비스팅 에너지 프로파일링 모듈에서 측정된 에너지 데이터와 기상청 데이터를 토대로 계산한 에너지 데이터 사이의 유사도 계산을 위해 다음 식을 사용하였다.

$$\psi = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \tag{5}$$

여기에서 $x_i, y_i, \bar{x}, \bar{y}$ 는 i 번째 시간구간에 에너지 하비스팅 모듈에서 측정된 하비스팅 에너지, 기상청 자료로부터 계산한 하

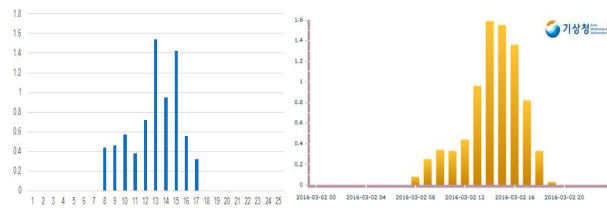


그림 7. 설치된 에너지 하비스팅 시스템
Fig. 7. Installed energy harvesting system.



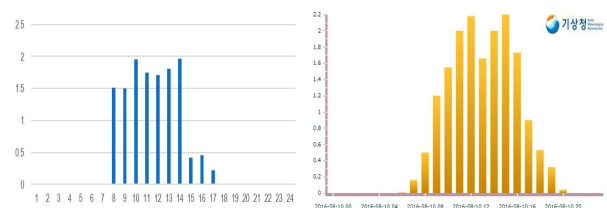
(a) Harvested energy per hour (J/s)
(b) KMA's solar radiation quantity per hour (MJ/m²)
그림 8. 하비스팅 된 에너지와 기상청 데이터(2016년 2월 2일)

Fig. 8. Harvested energy and KMA's solar radiation quantity data (2 Feb 2016).



(a) Harvested energy per hour (J/s)
(b) KMA's solar radiation quantity per hour (MJ/m²)
그림 9. 하비스팅 된 에너지와 기상청 데이터(2016년 3월 2일)

Fig. 9. Harvested energy and KMA's solar radiation quantity data (2 Mar 2016).



(a) Harvested energy per hour (J/s)
(b) KMA's solar radiation quantity per hour (MJ/m²)
그림 10. 하비스팅 된 에너지와 기상청 데이터(2016년 8월 9일)

Fig. 10. Harvested energy and KMA's solar radiation quantity data (9 Aug 2016).

비스팅에너지, 측정된 하비스팅 에너지 평균, 계산한 하비스팅 에너지 평균을 나타낸다. 측정 장소의 일조 제한 때문에 상관계수는 08시부터 17시까지 범위만을 적용하여 계산하였다.

그림 8, 그림 9, 그림 10은 각각 2016년 2월 2일과 3월 2일, 8월 9일에 측정된 하비스팅 에너지와 한국 기상청 제공 서울 일사량을 나타낸다. 하비스팅 에너지 측정 함수의 호출 주기는 초당 5회로 설정하였으나, 기상청 데이터의 단위 시간 구간인 한 시간 동안 측정된 하비스팅 에너지 샘플들에 대한 평균을 그 시간 구간의 하비스팅 에너지로 계산한다.

본 논문에서 설계한 에너지 하비스팅 모듈에서 측정된 에너지와 기상청 데이터 기반 계산 에너지 사이에는 2월 2일은 0.872의 상관도와 3월 2일은 0.734의 상관도를 보였으며 8월9

일은 0.719의 상관도를 보였다. 상관도가 1.0보다 작은 이유는 측정 환경의 차이, 태양의 위치 변화에 무관하게 고정된 태양전지판의 각도, 태양전지 충전회로 내 전력 손실 등에 기인한다. 그러나 일정 비율의 손실을 배제하면 시간대에 따라 하비스팅된 에너지양과 기상청 데이터는 시간에 따른 변화 추이가 유사하며, 이로부터 설계한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템의 하비스팅 에너지가 기상청 데이터와 비교적 높은 상관도로 유사함을 파악할 수 있다. 설계한 에너지 하비스팅 모듈은 과거의 기상예보와 하비스팅 에너지, 미래의 기상예보 등을 토대로 가까운 미래의 하비스팅 에너지를 예측하는데 활용될 수 있으며, 이는 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스의 동작 및 에너지 소비 최적 제어에 활용될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 별도의 전력원이 없거나 전력이 부족한 사물인터넷 환경에서 스마트 비디오 디바이스를 위한 에너지 하비스팅 및 프로파일링 시스템 구조를 제안하고 설계하였다. 설계된 에너지 하비스팅 모듈에서 하비스팅된 에너지를 기상청 제공 지역 일사량으로부터 계산한 에너지와의 비교하여 설계한 에너지 하비스팅 모듈의 동작의 적정성을 검증하였다. 설계된 하비스팅 에너지 프로파일링 모듈은 스마트 비디오 디바이스 프로토타입에 탑재되어 과거의 하비스팅된 데이터와 기상정보를 토대로 향후 하비스팅 에너지 예측과 지속 동작을 위한 스마트 비디오 디바이스 에너지 제어에 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업(NRF-2014R1A2A2A01006294) 지원과 2016년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의한 연구의 결과임.

참고 문헌

[1] Y. Chen, "Challenges and opportunities of internet of things," in *the Proceedings of the 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference(ASP-DAC)*, Sydney: Australia, pp. 383-388, Jan. 30 - Feb. 2, 2012.

[2] Y. Chen and S. Chien, "Perpetual video camera for Internet-of-things," in *IEEE Visual Communications and*

Image Processing (VCIP), San Diego: CA, pp. 1-7, Nov. 2012.

[3] J. Twidell, and T. Weir, *Renewable Energy Resources*, 3rd ed. New York, NY: Taylor & Francis Group, 2015.

[4] B. K. Donohoo, C. Ohlsen, S. Pasrcha, Y. Xiang, and C. Anderson, "Context-aware energy enhancements for smart mobile devices," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 13, No. 8, Aug. 2014.

[5] X. Li, H. Cao, E. Chen, and J. Tian, "Learning to infer the status of heavy-duty sensors for energy-efficient context-sensing," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 3, No. 2, Feb. 2012.

[6] H. Lee, C. Lee, B. Yang, and M. Lee, "Parallelization of video contents analytics algorithm for mobile environments," in *RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP)*, Honolulu: HI, Mar. 2016.

[7] J. Jung, and M. Lee, "An energy control model of smart video devices for the internet of things," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 66-73, Feb. 2015

[8] S. Liu, J. Lu, Q. Wu, and Q. Qiu, "Harvesting-aware power management for real-time system with renewable energy," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Intergration(VLSI) Systems*, Vol. 20, No. 8, pp. 1473-1486, Jul. 2012.

[9] ASTM G173-03, Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface, ASTM International, West Conshohocken: PA, 2012

[10] PV Education, [Internet]. Available: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/efficiency>

[11] L. Zhang, B. Tiwana, Z. Qian, Z. Wang, R.P. Dick, Z.M. Mao, and L. Yang, "Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones," in *IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS)*, Scottsdale: AZ, pp. 105-114, Oct. 2010.

[12] PowerTutor, [Internet]. Available: <http://powertutor.org>.

[13] Battery Manager in Android API Level 1, [Internet]. Available: <https://developer.android.com/reference/android/os/BatteryManager.html>.

[14] Korea Meteorological Administration, [Internet]. Available: <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/statistics/newStatisticsSearch.do?menu=SFC>

[15] Measurement and Instrumentation Data Center [Internet]. Available: <http://www.nrel.gov/midc>



강 두 식 (Doo-sik Kang)

2011년~현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부
※ 관심분야 : 영상신호처리, 사물인터넷



김 준 식 (Jun-sik Kim)

2011년~현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부
※ 관심분야 : 영상신호처리, 사물인터넷



박 건 우 (Keon-woo Park)

2011년~현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부
※ 관심분야 : 영상신호처리, 사물인터넷



이 명 진 (Myeong-jin Lee)

1994년 : KAIST 전기및전자공학과 (공학사),
2001년 : KAIST 전자전산학과 (공학박사),
2004년~2007년 : 경성대학교 전기전자공학과 조교수
2008년~현재 : 한국항공대 항공전자정보공학부 교수
※ 관심분야 : 영상처리, 영상통신, 멀티미디어 시스템

1996년 : KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)
2001년~2004년 : 삼성전자 System LSI 사업부 책임