

사물 인터넷 환경을 위한 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 모델

An Energy Control Model of Smart Video Devices for the Internet of Things

정재원 · 이명진*

한국항공대학교 정보통신공학과

Jae-won Jeong · Myeong-jin Lee*

Department of Telecommunication & Information Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 412-791, Korea

[요 약]

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 저전력 동작과 에너지 하비스팅이 가능한 스마트 비디오 디바이스의 구조와 에너지 제어 모델을 제안한다. 스마트 비디오 디바이스는 프로세서, 이미지 센서, 비디오 코덱, 네트워크 제어기 모듈들로 구성된다. 제안하는 에너지 제어 모델은 이미지 센싱, 비디오 부호화, 전송 시 에너지 소비량 출력과 태양전지를 통한 하비스팅 에너지 입력을 이용하여 에너지 버퍼인 배터리 입력력 관계로 정의된다. 화면률, 양자화 계수, 프로세서 동작 주파수를 에너지 레벨과 기능 블록들의 에너지 소비 제어 계수로 사용한다. 제안하는 에너지 제어 모델은 스마트폰 기반으로 에너지 제어 계수들에 따른 에너지 소비량 측정을 통해 검증되었으며, 에너지 하비스팅 기능을 이용한 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스 설계에 활용될 수 있다.

[Abstract]

In this paper, an architecture of a perpetual smart video device and its energy control model for the internet of things (IoT) are proposed. The smart video device consists of a processor, an image sensor, a video codec, and a network controller. In the proposed energy control model, energy consumed by image sensing, video encoding, and transmission and energy harvested by solar panels are defined as an input and an output of a battery, an energy buffer. Frame rate, quantization parameter, and operating frequency of processor are defined as the energy control parameters, and these parameters control the input and the output energy of the energy buffer, finally control the energy left in the battery. The proposed energy control model is validated by the energy consumption measurement of the smart phone based platform for various combinations of energy control parameters, and can be used for the design of perpetual smart video device.

Key word : Smart video device, Energy control model, Energy-harvesting, Internet of things, Video codec.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.1.66>



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 16 January 2015; Revised 26 January 2015
Accepted (Publication) 16 February 2015 (28 February 2015)

*Corresponding Author; Myeong-jin Lee

Tel: +82-2-300-0421

E-mail: artistic@kau.ac.kr

1. 서론

사물인터넷 (IoT; internet of things) 세상이 도래하면서 센싱, 네트워킹 및 지능화 기술을 탑재한 스마트 비디오 디바이스가 일상생활 속에 설치되고 있다. 스마트 비디오 디바이스는 스스로 비디오를 촬영 및 분석하고, 디바이스들의 상호 연계를 통한 상황 정보 전달, 클라우드 컴퓨팅 기반의 공동 정보 처리 등을 수행한다 [1].

일반적으로 사물인터넷에서 재난재해, 사회안전, 시설관리, 생활방법 등을 주목적으로 하는 공공보안용 스마트 비디오 디바이스는 임의의 시점에 발생할 수 있는 영상 내 이벤트들을 검출할 수 있도록 상시 모니터링과 녹화를 할 수 있어야 한다. 그러나 스마트 비디오 디바이스는 기존의 저 대역폭의 1차원 센서 노드들과 비교하여 동작 시 에너지 소모량이 크기 때문에, 대용량 배터리 장착 또는 지속적인 충전이 필요하다. 향후 대부분의 스마트 비디오 디바이스들은 무선 통신 환경에서 배터리 기반으로 동작하고, 잦은 충전이 불가능한 곳에 설치될 가능성이 높다. 따라서 주변 환경으로부터 에너지를 채집할 수 있는 에너지 하비스팅 기능이 요구된다.

모바일 환경에서 잦은 충전이 가능한 스마트 비디오 디바이스의 저전력 동작을 위한 전력-비트율-왜곡 (P-R-D; power-rate-distortion) 모델 연구와 이를 기반으로 비디오 코덱을 제어하는 연구들이 수행되었다 [2]-[4]. He는 비디오 부호화 단계별 계산량 신축성 (computational scalability) 계수들을 정의하고 [2], [3], 이에 따른 왜곡, 발생 비트, DVFS (dynamic voltage frequency scaling) 기반 소비전력을 분석함으로써 P-R-D의 관계를 도출하였다. Kim [4]은 H.264의 부호화 제어 구조와 하드웨어 코덱의 전력 시뮬레이션을 기반으로 부호화 계수 조합에 따른 P-R-D 관계를 도출하였다. 그러나 기존 연구들은 모바일 환경의 움직임이 크게 존재하는 비디오 입력원까지 고려해야 했기 때문에, 잦은 배터리 충전이 가능한 모바일 환경에서 H.264 코덱의 P-R-D 관계 모델링에만 집중하였다. 또한, H.264 코덱 외의 저전력 비디오 코덱이나 에너지 하비스팅 기반의 지속 가능한 비디오 디바이스의 에너지 제어는 고려하지 않았다.

사물인터넷 환경에서 비디오 입력원은 배경이 정적이고 일부 전경에 이동 물체가 출현하는 특성을 갖기 때문에, 저전력 분산 비디오 부호기 (DVC; distributed video coding)를 스마트 비디오 디바이스에 적용하려는 연구들이 수행되었다 [1], [5], [6]. Chien [1]은 DVC과 움직임 보상 기반 H.264 코덱을 에너지 소비량 관점에서 비교하고, 향후 사물인터넷 환경에서 저전력 비디오 코덱으로 DVC의 사용을 주장하였다. Lee [6]는 사물인터넷 환경의 배경이 정적인 비디오 원에 대해 다양한 화면틀에 대한 DVC의 보조정보 생성 방식을 제안하고, 부호화 효율이 실용화 가능성을 보였다. 그러나 DVC는 저전력 부호화라는 장점이 존재하지만, 가상 채널 잡음 추정과 부호기와 복호기 사이의 피드백 채널이 필요해서 실용화 연구가 필요하다.

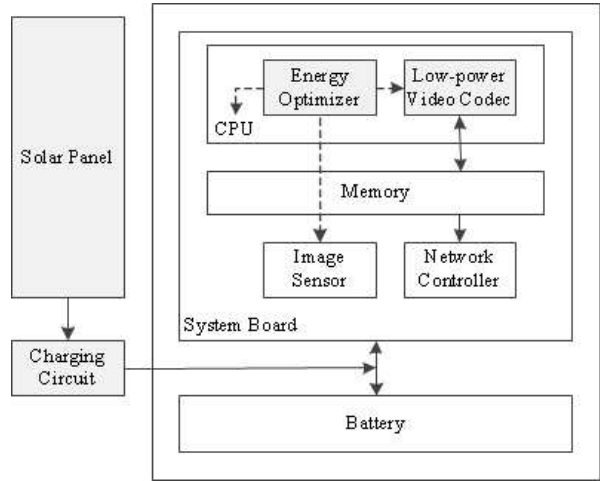


그림 1. 사물인터넷 환경을 위한 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스 구조

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

일반적으로 영상 내 움직임이 적은 경우, 비디오 부호기는 양자화나 움직임 추정 방식의 조절에 의한 계산량 감축보다 화면틀 제어로 보다 효과적으로 계산량을 감축할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저전력 DVC의 에너지 모델링의 첫 단계 연구로서 키 프레임 부호화 (H.264 Intra)와 화면틀 제어를 고려한 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 모델을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 구조에 관해서 설명한다. 제3장에서는 에너지 제어 계수들에 따른 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 모델을 제안한다. 제4장에서는 스마트폰 환경에서 제안한 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 모델을 검증하고, 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안하는 스마트 비디오 디바이스 구조 및 에너지 제어 계수

본 장에서는 사물인터넷 환경에서 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스의 구조를 제안하고, 에너지 소비량 제어를 위한 제어 계수들을 정의한다.

2-1 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 구조

사물인터넷 환경에서 지속 가능한 비디오 디바이스는 배터리, 에너지 하비스팅 모듈, 저전력 비디오 코덱을 내장해야 하고, 배터리 레벨에 따라 적응적으로 에너지 소비량을 제어할 수 있어야 한다. 그림1은 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 구조이다.

스마트 비디오 디바이스는 기능 면에서 비디오 프레임 캡처, 비디오 압축, 비디오 압축 비트열 전송 등으로 구성되며, 이를

위한 이미지 센서, 비디오 코덱, 네트워크 전송 등의 기능 모듈들을 내장하고, 내장 프로세서를 이용하여 이 모듈들을 제어한다. 또한, 지속 가능한 동작을 위해 태양전지 기반의 에너지 하비스팅 모듈과 배터리를 내장한다. 비디오 코덱은 하드웨어 또는 소프트웨어로 구성될 수 있으며, 소프트웨어 코덱의 경우 내장 프로세서의 연산 용량을 사용하기 때문에 내장 프로세서의 동작 주파수에 따라 부호화 지연이 달라진다.

2-2 에너지 소비 제어 계수

스마트 비디오 디바이스의 지속 가능성을 위해 태양전지에서 하비스팅된 에너지는 배터리로 유입되고, 기능 모듈들의 동작에 따른 소비된 에너지가 배터리에서 유출된다. 기능 모듈의 에너지 소비량은 이미지 센서의 화면률, 비디오 코덱의 양자화 계수, 내장 프로세서의 동작 주파수로 제어한다.

1) 비디오 코덱의 양자화 계수 qp

일반적인 비디오 코덱에서 양자화 계수, 움직임추정의 정확도, 움직임 탐색범위 등을 조절하여 에너지 소비량 제어가 가능하다 [2]-[4]. 본 논문에서는 저전력 DVC의 단순화된 형태로 화면 내 부호화만 사용하는 키 프레임만을 사용하기 때문에 양자화 계수만을 이용하여 부호화 시 소비되는 에너지를 제어한다. 일반적으로 양자화 계수가 커짐에 따라 계산 복잡도가 낮아지고, 에너지 소비량을 낮출 수 있다. 본 논문에서는 비디오 품질 (PSNR; peak signal-to-noise ratio)의 범위를 25~40 dB로 제한하고, 이에 따른 양자화 계수의 범위를 30~45로 설정한다.

2) 비디오 코덱의 부호화 화면률 r_M

스마트 비디오 디바이스에서 부호화하는 화면률을 조절하여 이미지 센서와 부호화 코덱의 에너지 소비를 제어한다. r_M 은 이미지 센서가 캡처 가능한 최대 화면률 (예: 30Hz)을 2^M 으로 나눈 화면률로 정의한다. 사물인터넷 환경에서 비디오 입력원은 배경이 정적이고 전경 물체가 간헐적으로 출현하기 때문에, 항상 높은 화면률이 요구되지는 않는다. 따라서 전경 물체가 없거나 적고 움직임이 크지 않은 경우 화면률을 낮추고, 물체가 많아지고 움직임이 커지면 화면률을 높이는 제어 방법을 사용하면 에너지를 효과적으로 활용할 수 있다. 본 논문에서는 스마트 비디오 디바이스에 저장된 에너지가 고갈되거나 장면 특성에 따라 화면률 제어가 필요한 경우 화면률을 정수단위에서 소수 단위까지 낮추어 에너지 소비를 제어한다.

3) 내장 프로세서의 동작 주파수 f

스마트 비디오 디바이스에 내장된 프로세서를 DVFS 기반 주파수 제어하여 내장 프로세서 동작 시 소비 에너지를 제어한다. 내장 프로세서의 동작 주파수에 따른 스마트 비디오 디바이스의 소비 에너지 E_d 의 관계는 다음과 같다 [7].

$$E_d \propto f^2 \tag{1}$$

III. 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 모델

본 장에서는 제안한 스마트 비디오 디바이스 구조를 기반으로 하비스팅 에너지와 에너지 소비 제어 계수에 따른 소비 에너지 모델을 세우고, 시스템 에너지 입출력 모델을 제안한다. 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 에너지 하비스팅과 기능 모듈들에 의한 에너지 입출력은 Liu가 제안한 그림 2의 구조를 기반으로 하였다 [8]. 에너지 하비스팅 및 에너지 소비 모델은 다음 4가지의 에너지 모듈들로 구성된다. 에너지 하비스팅 모듈 (EHM; energy harvesting module)은 스마트 비디오 디바이스에 에너지를 하비스팅하여 공급하는 태양 전지 모듈의 에너지 공급 모델을 나타낸다. 에너지 소비 모듈 (EDM; energy dissipation module)은 스마트 비디오 디바이스에서 에너지를 소비하는 각 내장된 기능 모듈의 에너지 소비 모델을 나타낸다. 에너지 저장 모듈 (ESM; energy storage module)은 스마트 비디오 디바이스에서 공급 에너지를 저장하고, 에너지 소비 모듈에 에너지를 공급하는 에너지 저장 모델이다. 마지막으로 에너지 변환 모듈 (ECM; energy conversion module)은 스마트 비디오 디바이스 내 모듈들 사이에서 에너지를 공급하고 받는 과정에서 발생하는 에너지 변환 모델을 나타낸다. 본 논문에서는 에너지 변환 시 에너지 손실은 없다고 가정한다.

3-1 에너지 하비스팅 모델

제안하는 스마트 비디오 디바이스 구조에서 화면률 r_M 의 입력력 비디오 원에 대해 n 번째 비디오 프레임을 처리하는 동안 EHM으로부터 얻어지는 하비스팅 에너지 $E_h(n; r_M)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_h(n; r_M) = \int_{n\Delta_M}^{(n+1)\Delta_M} P_h(t) dt \tag{2}$$

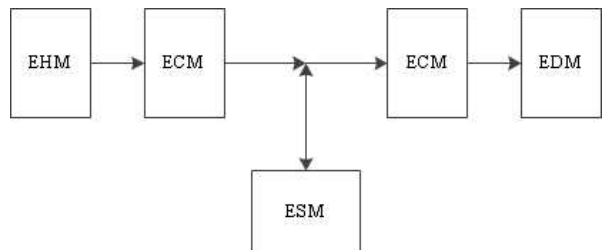


그림 2. 스마트 비디오 디바이스의 에너지 하비스팅 및 소비 모델의 구조

Fig. 2. Architecture of energy harvesting and consumption model on smart video device.

여기에서 $P_h(t)$ 는 태양전지판으로부터 얻어지는 출력 파워이고, Δ_M 은 화면률 r_M 에서 인접 비디오 프레임 간 시간 간격이다.

3-2 제안하는 에너지 소비 모델

제안하는 스마트 비디오 디바이스 구조에서 n 번째 프레임을 처리하는 동안 EDM에서 소비되는 에너지는 이미지 센서에서 소비되는 에너지, 전송 모듈에서 소비되는 에너지, 부호기에서 소비되는 에너지로 구성된다.

이미지 센서에 의한 소비 에너지 $e_s(r_M)$ 는 다음과 같다.

$$e_s(r_M) = \lambda + \mu/r_M \quad (3)$$

여기에서 λ 는 프레임 한 장 캡처 시 이미지 센서에 의한 소비 에너지, μ 는 이미지 센서에서 프레임 캡처 여부와 무관하게 단위 시간당 소비되는 기준 에너지이다.

전송 모듈에 의한 소비 에너지 $e_t(qp)$ 는 다음과 같다.

$$e_t(qp) = \delta R(qp) \quad (4)$$

여기에서 δ 는 전송 단에서 소비되는 에너지의 모델 계수이고 $R(qp)$ 는 양자화 계수 qp 로 부호화 시 생성하는 전송 단의 발생 비트량을 kbits로 나타낸 것이다.

소프트웨어 비디오 부호기에서 프레임 한 장 부호화 시 소비 에너지 $e_c(f, qp)$ 는 다음과 같다.

$$e_c(f, qp) = \rho f^2 C(qp) \quad (5)$$

여기에서 ρ 는 부호화 시 소비 에너지의 모델 계수이고, $C(qp)$ 는 양자화 계수 qp 로 부호화 시 요구되는 내장 프로세서의 연산량을 Mcycles로 나타낸 것이다.

스마트 비디오 디바이스 내장 하드웨어 비디오 코덱은 ASIC (application specific integrated circuit) 기반 저전력 설계가 되어 있다. 또한, 하드웨어 비디오 코덱의 연산은 내장 프로세서 주파수와는 무관하고, 식 (5)의 모델을 적용할 수 없다. 스마트 비디오 디바이스에 탑재될 비디오 코덱은 응용에 따라 ASIC화된 하드웨어 코덱이나 특수 목적으로 설계된 소프트웨어 비디오 코덱이 사용될 수 있어, 응용 목적과 가용 플랫폼에 따라 식(5)의 모델을 사용하거나, 하드웨어 비디오 코덱 설계자가 제시하는 에너지 데이터를 사용해야 한다.

앞에서 제안한 기능 모듈들의 에너지 소비 모델들을 이용하여 스마트 비디오 디바이스에서 n 번째 프레임 처리 시 소비되는 에너지 $E_d(n; f, qp, r_M)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_d(n; f, qp, r_M) = e_s(r_M) + e_t(qp) + e_c(f, qp) \quad (6)$$

3-3 에너지 저장 모델

제안하는 스마트 비디오 디바이스 구조에서 n 번째 프레임을 처리한 후 ESM에 저장되어 있는 에너지 $E_c(n; f, qp, r_M)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_c(n; f, qp, r_M) = \max(0, \min(E_{max}, E_c(n-1; f, qp, r_M) + E_h(n; r_M) - E_d(n; f, qp, r_M))) \quad (7)$$

여기에서 E_{max} 는 ESM의 최대 에너지 저장용량이다.

IV. 실험 결과

4-1 제안하는 스마트 비디오 디바이스의 프로토타입 구현

제안하는 스마트 비디오 디바이스의 프로토타입은 삼성 갤럭시 S2 스마트 폰을 기반으로 구현되었다. 구현된 스마트 비디오 디바이스는 내장 이미지 센서, H.264 하드웨어 비디오 코덱, 그리고 WiFi 모듈을 내장한다. 또한, 안드로이드 4.1 (Jelly Bean) 버전 이상의 환경에서 동작하고, 비디오 코덱의 경우 CIF 해상도의 영상을 H.264 baseline 프로파일과 level 3.0에서 DVC의 키 프레임에 해당하는 화면 내 예측 부호화만을 수행하도록 GOP (group of pictures)를 1로 설정하였다. 전송 단은 WiFi 기반의 UDP (user datagram protocol)를 이용하여 부호화된 데이터를 전송하였다.

스마트 비디오 디바이스의 에너지 입출력 모델 검증 시 에너지 하비스팅 모델은 에너지 제어 계수에 의한 제어가 불가능하고, 자연으로부터 하비스팅되는 에너지양을 누적하기 때문에, 검증을 수행하지 않는다. 따라서 에너지 제어 계수들에 따른 기능 모듈별 에너지 소비 모델을 그림 3의 Monsoon 파워 모니터 [9]를 이용한 에너지 소비량 측정을 통해 검증하였다.

이미지 센서의 화면률 제어 범위는 안드로이드 플랫폼 기반 카메라 API (application programming interface)에서 제공하는 8~30 Hz 사이에서 1 Hz 단위로 제어가 가능하고, 타이머 API를 이용하여 스냅 샷 기반으로 8 Hz 이하의 화면률도 제어 가능하도록 구현하였다. AP (application processor) 내장형 하드웨어 비디오 코덱은 직접 양자화 계수를 제어할 수 없어 양자화-비트율 관계를 이용하여 비트율을 제어함으로써 간접적으로 양자화 계수를 제어하였다. 내장 AP 프로세서의 동작 주파수는 CPU governor를 이용하여 200, 500, 800, 1000, 1200 MHz로 제어하였다.

스마트 비디오 디바이스를 구성하는 이미지 센서, 전송 단, 부호기에서 소비되는 에너지를 각각 측정하기 위해 기능 블록별 동작 가능 모드를 구현하였다. 이미지 센서의 소비 에너지를 측정하기 위한 기능 블록은 설정된 화면률에 맞춰 이미지 센서에서 영상을 촬영하고, 이미지 버퍼에 영상 데이터를 저장하는 부분까지만 수행하도록 설계하였다. 비디오 코덱의 소비 에너지

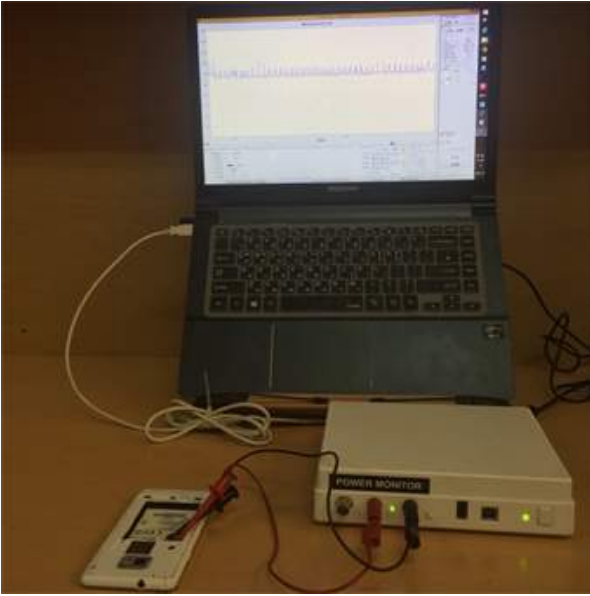


그림 3. 파워 모니터를 이용한 스마트 비디오 디바이스의 소비 에너지 측정

Fig. 3. Measurement of consumption energy on smart video device using the power monitor.

지를 측정하기 위한 기능 블록은 미리 스마트폰에 저장해 놓은 비디오 시퀀스를 부호화하는 부분까지만 수행하도록 설계하였다. 마지막으로 전송 단의 소비 에너지를 측정하기 위한 기능 블록은 일련의 비트열을 설정된 비트율에 맞춰 WiFi 모듈을 통해 전송하는 부분까지만 수행하도록 설계하였다. 또한, 에너지 제어 계수들의 조합에 의한 설정들에 대해서도 스마트 비디오 디바이스 에너지 소비량 측정이 가능하도록 응용 프로그램을 설계하였다.

4-2 기능 모듈별 에너지 소비 모델 계수 추정

1) 이미지 센서의 에너지 소비 모델 계수 추정

이미지 센서에서 소비되는 에너지를 측정하기 위해 이미지 센서 기능 블록만 동작시키고, 화면률을 변화시키면서 에너지

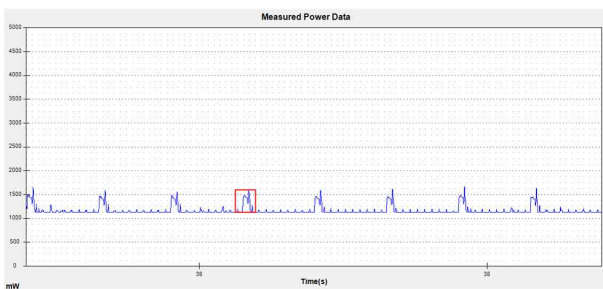


그림 4. 파워 모니터에서 출력되는 이미지 센서에서 소비되는 출력 파워 (화면률 : 2 fps)

Fig. 4. Consumed output power of image sensor on the Monsoon power monitor (frame rates: 2 fps).

표 1. 이미지 센서 및 전송 단의 에너지 모델 계수

Table 1. Energy model coefficient of image sensor and transceiver.

energy consumption model	model coefficient	value
$e_s(r_M)$	λ	14.5 mJ / frame
	μ	1050 mJ / second
$e_t(qp)$	δ	130 μ J / kbits

를 측정하였다. 그림 4는 Monsoon 파워 모니터를 통해 이미지 센서에서 소비되는 에너지를 측정한 결과이다. 식 (3)의 λ 는 한 장의 비디오 프레임 캡처 시 이미지 센서에 의한 소비 에너지를 의미하므로, 그림 4에서 프레임 한 장에 해당되는 붉은 박스 영역의 에너지를 누적하여 계산하였다. 식 (3)의 μ 는 단위 시간당 이미지 센서의 기준 소비 에너지이므로 같은 조건하에서 이미지 센서 활성화 시 단위 시간당 평균 소비 에너지와 비활성화 시 단위 시간당 평균 소비 에너지의 차로 계산한다. λ 와 μ 는 화면률에 따라 변화하지는 않는다. 실험에서 도출한 λ 와 μ 는 표 1과 같다.

2) 전송 단의 에너지 소비 모델 계수 추정

전송 단에서 소비되는 에너지를 측정하기 위해 전송 단 기능 블록 동작만 수행하고, 같은 조건 하에서 전송률을 변화시키면서 소비 에너지를 측정하였다. 그림 5는 전송 단의 전송률에 따른 에너지 소비량 측정치와 최소자승법 기반 식(4)의 모델 계수 추정 과정을 나타낸다. 측정된 전송 단의 소비 에너지는 전송률에 비례함을 확인하였고, 최소 자승법으로 에너지 소비량을 근사화하여 에너지 소비 모델을 도출할 수 있다. 측정을 통해 최소자승법으로 구한 δ 는 표 1과 같다.

3) 비디오 코덱의 에너지 소비 모델 계수

현재 스마트폰 플랫폼에서 사용한 코덱은 하드웨어 H.264 코덱이고, ASIC 기반 저전력 설계가 되어 있다. 비디오 코덱의 소비 에너지 $e_c(f, qp)$ 를 내장 프로세서의 주파수나 양자화 계수 제어를 통해 측정하였으나, 저전력 ASIC 비디오 코덱의 특성상 qp 변화에 따른 에너지 소비량 변화는 측정을 통해 구분이 어려웠다. 내장 프로세서의 주파수 증가에 따른 비디오 코덱의 에너지 소비 측정량은 동일 qp 에 대해 증가하였으나, 하드웨어 비디오 코덱의 연산은 내장 프로세서 주파수와는 무관하여, 이는 내장 프로세서와 시스템 버스 등을 포함한 디바이스의 기본 구동 에너지가 DVFS 관계에 의해 증가한 것으로 해석된다.

소프트웨어 비디오 코덱의 에너지 소비 모델 계수 ρ 의 추정을 위해서는 향후 소프트웨어 비디오 코덱을 스마트폰 플랫폼에 탑재한 후 소비 에너지 측정을 통한 모델 검증이 필요하다.

4-3 스마트 비디오 디바이스의 에너지 소비 제어 모델 검증

스마트 비디오 디바이스에서 소비되는 에너지는 화면률, 비트율, 프로세서 동작 주파수를 표2의 범위 안에서 변경하면서

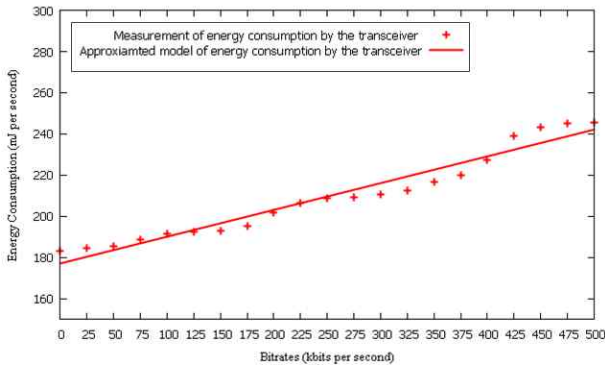
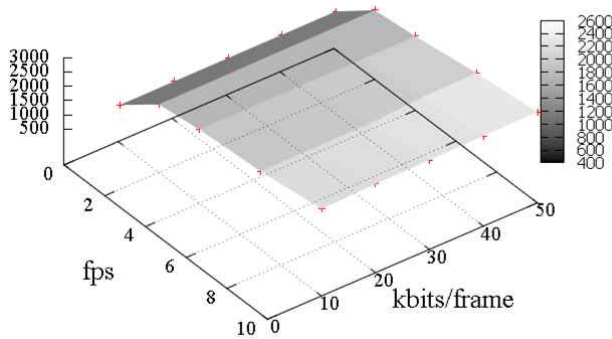


그림 5. 전송 단의 단위 시간당 소비 에너지 측정 및 모델 계수 추정

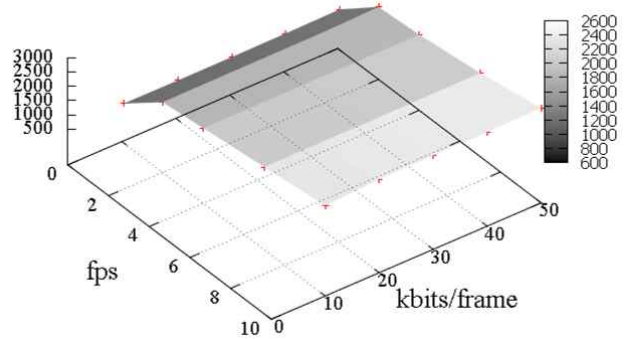
Fig. 5. Measurement of energy consumption by the transceiver and the estimation of its energy consumption model coefficient.

측정하였다. 전송 단의 전송률은 설정된 비트율에 맞춰 전송하였다. 프로세서 동작 주파수는 하드웨어 코텍의 에너지 소비량에 직접 영향을 주지는 않으나, 시스템이나 메모리 버스의 동작 속도와 연동되어 하드웨어 코텍의 데이터 입출력시 에너지 소비량에 간접적인 영향을 줄 수 있다. 그림 6은 스마트 비디오 디바이스의 에너지 제어 계수 변화에 따른 단위 시간당 측정된 평균 에너지 그래프이다. 특정 프로세서 동작 주파수와 부호화 비트율에 대해 화면률 변화에 따른 에너지 소비량은 제안한 식(3)

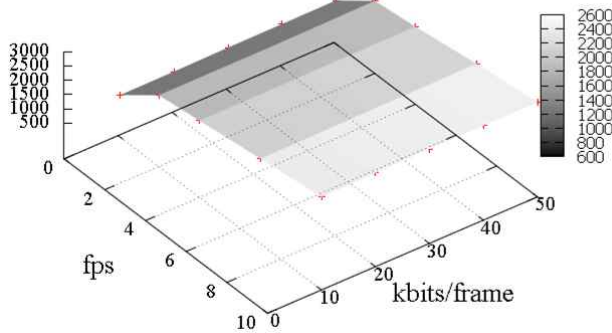
Operating frequency of processor : 500 MHz



Operating frequency of processor : 800 MHz



Operating frequency of processor : 1,000 MHz



Operating frequency of processor : 1,200 MHz

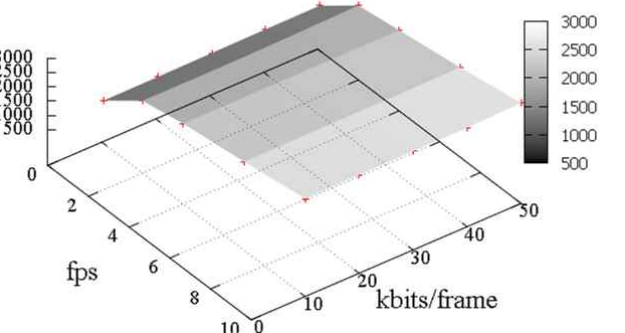


그림 6. 제어 계수의 변화에 따른 스마트 비디오 디바이스에서 단위 시간당 소비되는 평균 에너지

Fig. 6. Average energy per second consumed smart video device corresponding to control parameters.

표 2. 스마트 비디오 디바이스에서 소비되는 에너지의 측정에 사용된 제어 계수의 범위

Table 2. Range of control parameters used for measure consumption energy of smart video device.

control parameter	setting range
operating frequency of processor (Mhz)	500,800,1000,1200
frame rates (frames per second)	2,4,6,8,10
bitrates (kbits per frame)	10,20,30,40,50

과 같이 변화함을 확인하였다. 또한, 특정 부호화 비트율과 화면률에 대해 프로세서 동작 주파수 변화에 따른 에너지 소비량은 11~14% 증감이 확인되었다. 특정 화면률과 프로세서 동작 주파수에 대해 비트율 변화에 따른 에너지 소비량은 거의 변화가 없었고, 이는 저전력 하드웨어 비디오 코텍의 사용과 설정된 비트율에 따른 전송 단에서 소비되는 에너지량의 변화가 거의 없기 때문이다.

에너지 소비 모델 검증을 통해 에너지 제어 계수 중에서 에너지 소비량에 가장 큰 영향을 미치는 계수는 화면률로 파악이 되었으며, 이미지 센서에서 프레임 캡처 여부와 무관하게 단위 시간당 소비되는 기준 에너지 μ 를 중심으로 다른 에너지 제어 계수들에 의한 미세한 에너지 소비량 변화가 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 기존 비디오 코텍의 P-R-D 관계 연구 결과에 비해, 제안한 스마트 비디오 디바이스의 에너지 소비 제어 모델은

화면률을 고려하였고, 다른 비디오 코덱의 제어 계수들보다 화면률이 에너지 소비량 결정에 중요한 계수임을 실험을 통해 증명하였다.

설계된 스마트 비디오 디바이스에서 단위 시간당 소비되는 평균 에너지는 화면률과 비트율의 변화에 따라 프로세서의 동작 주파수가 500 MHz일 경우 약 1600-2400 mJ/s, 1,200 MHz일 경우 약 1800-2800 mJ/s로 측정되었다. 측정된 소비 에너지를 토대로 배터리 전압 3.7 V, 배터리용량 3,500 mAh의 배터리를 사용한다고 가정하면, 프로세서의 동작 주파수, 화면률, 비트율을 500 MHz, 2 fps, 10 kbits/frame으로 설정할 시 최대 약 8시간 5분 동안 지속 동작이 가능하고, 1200 MHz, 10 fps, 50 kbits/frame으로 설정할 시 최대 약 4시간 40분 동안 지속 동작이 가능하다.

제안된 에너지 소비 모델은 지속 동작을 위한 태양에너지 하비스팅 모듈 설계와 일정 품질 수준 이상의 영상 획득을 하면서 스마트 비디오 디바이스가 지속 가능하도록 저전력 제어를 하는 용도로 활용될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 저전력 동작과 에너지 하비스팅이 가능한 스마트 비디오 디바이스의 구조와 에너지 제어 모델을 제안하였다. 제안된 에너지 제어 모델은 이미지 센싱, 비디오 부호화, 전송 시 에너지 소비량 출력과 태양전지를 통한 하비스팅 에너지 입력을 이용하여 에너지 버퍼인 배터리 입력력 관계로 정의된다. 화면률, 양자화 계수, 프로세서 동작 주파수를 에너지 소비 제어 계수로 사용하고, 스마트폰 기반으로 에너지 제어 계수들에 따른 에너지 소비량 측정을 통해 모델을 검증하였다. 또한, 기존 연구에서 고려하지 않았던 화면률이 스마트 비디오 디바이스의 소비 에너지 제어에 중요한 제어 계수임을 보였다. 제안된 에너지 소비 모델은 에너지 하비스팅 기능을 이용한 지속 가능한 스마트 비디오 디바이스 설계에 활용될 수 있다.

향후 연구계획은 소프트웨어 비디오 코덱을 스마트폰 플랫폼에 탑재하여 제어 계수의 변화에 따른 스마트 비디오 디바이스의 소비 에너지를 측정하여 제안한 부호화 시 소비되는 에너지 모델을 검증할 계획이며, 하드웨어 비디오 코덱과의 소비 에너지를 비교 및 분석할 계획이다. 또한, 키 프레임과 더불어 본 논문에서 다루지 않았던 DVC에서 사용되는 와이너 지브 프레임에 대해서도 고려하여 DVC 기반의 에너지 제어 모델의 연구를 진행할 계획이며, 태양전지판을 이용하여 프로파일링된 하비스팅 에너지와 스마트 비디오 디바이스의 소비 에너지 모델을 이용하여 소프트웨어 시뮬레이터를 통하여 에너지 최적기를 설계할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업(NRF-2014R1A2A2A01006294) 지원과 2013년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의한 연구의 결과임.

참고 문헌

- [1] S. Y. Chien, T. Y. Cheng, S. H. Ou, C. C. Chiu, C. H. Lee, V. S. Somayazulu, and Y. K. Chen, "Power consumption analysis for distributed video sensors in machine-to-machine networks," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 55-64, Feb. 2013.
- [2] Z. He, Y. Liang, L. Chen, I. Ahmad, and D. Wu, "Power-rate-distortion analysis for wireless video communication under energy constraint," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol 15, No. 5, pp. 645-658, May. 2005.
- [3] Z. He, D. Wu, "Resource allocation and performance analysis of wireless video sensors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 16, No. 5, pp. 590-599, May. 2006.
- [4] J. Kim, J. Kim, G. Kim, and C. M. Kyung, "Power-rate-distortion modeling for energy minimization of portable video encoding devices," in *Proceeding of IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Seoul: Korea, pp. 1-4, 2011.
- [5] X. Artigas, J. Ascenso, M. Dalau, S. Klomp, D. Kubasov, and M. Ouaret, "The DISCOVER codec: architecture, techniques and evaluation," *Picture Coding Symposium.*, Lisbon: Portugal, pp. 1103-1120, 2007.
- [6] M. Lee, "Side Information Generation for Frame Rate Scalable Distributed Video Codecs," *IET Electronics Letters*, Vol. 50, No. 5, pp. 370-372, Feb. 2014.
- [7] M. Yang, Y. Wen, J. Cai, and C. H. Foh, "Energy minimization via dynamic voltage scaling for real-time video encoding on mobile devices," in *Proceeding of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Ottawa: ON, pp. 2026-2031, June. 2012.
- [8] S. Liu, J. Lu, Q. Wu, and Q. Qiu, "Harvesting-aware power management for real-time systems with renewable energy," *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, Vol. 20, No. 8, pp. 1473-1486, 2012.
- [9] Mobile device power monitor manual ver 1.14 [Internet]. available: http://msoon.com/LabEquipment/PowerMonitor/downloads/PowerMonitor_ManualVer1.4.pdf



정 재 원 (Jae-won Jeong)

2013년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학사)
2013년~현재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정
※ 관심분야: 신호 처리, 영상 처리, 회로분석 및 설계



이 명 진 (Myeong-jin Lee)

1994년 : KAIST 전기및전자공학과 (공학사)
2001년 : KAIST 전자전산학과 (공학박사)
2004년 ~ 2007년 : 경성대학교 전기전자공학과 조교수
2008년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부 부교수
※ 관심분야: 영상처리, 영상통신, 영상분석, 영상 회로 설계

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