

# Energy-Aware Video Coding Selection for Solar-Powered Wireless Video Sensor Networks

Jun Min Yi\*, Dong Kun Noh\*\*, Ikjune Yoon\*\*\*

## Abstract

A wireless image sensor node collecting image data for environmental monitoring or surveillance requires a large amount of energy to transmit the huge amount of video data. Even though solar energy can be used to overcome the energy constraint, since the collected energy is also limited, an efficient energy management scheme for transmitting a large amount of video data is needed. In this paper, we propose a method to reduce the number of blackout nodes and increase the amount of gathered data by selecting an appropriate video coding method according to the energy condition of the node in a solar-powered wireless video sensor network. This scheme allocates the amount of energy that can be used over time in order to seamlessly collect data regardless of night or day, and selects a high compression coding method when the allocated energy is large and a low compression coding when the quota is low. Thereby, it reduces the blackout of the relay node and increases the amount of data obtained at the sink node by allowing the data to be transmitted continuously. Also, if the energy is lower than operating normaly, the frame rate is adjusted to prevent the energy exhaustion of nodes. Simulation results show that the proposed scheme suppresses the energy exhaustion of the relay node and collects more data than other schemes.

▶Keyword: Allocation, Workload, Migration, Load balancing, Simulation

## 1. Introduction

최근, 관찰이나 감시 목적으로 주기적으로 영상을 수집하여 전송하는 노드를 사용한 무선 영상 센서 네트워크(WVSN, wireless video sensor network)가 개발되고 있다[1-3]. 이러한 노드는 영상을 수집하여 싱크 노드로 전송해야 하는데, 수집된 영상 데이터의 크기는 일반적인 센서 데이터와는 달리 굉장히 크기 때문에 이를 전송하는데 많은 에너지가 소모되고, 데이터 압축에도 많은 에너지가 소모되기 때문에, 에너지를 효율적으로 관리하기 위한 기법이 꼭 필요하다.

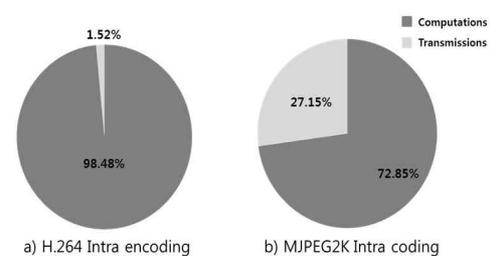


Fig. 1. Proportion of compression and transmission energy[9]

무선 센서 네트워크(WSN, Wireless sensor network)의 제한된 에너지 문제를 극복하기 위한 방법으로, 주변 환경으로부터 에너지를 수집하는 노드를 이용한 에너지 수집형 센서 네트

• First Author: Jun Min Yi, Corresponding Author: Ikjune Yoon

\*Jun Min Yi (jmyi@ssu.ac.kr), Dept. of Software Convergence, Soongsil University

\*\*Dong Kun Noh (dnoh@ssu.ac.kr), Dept. of Software Convergence, Soongsil University

\*\*\*Ikjune Yoon (Ikjun.Yoon@gmail.com), Dept. of Smart Systems Software, Soongsil University

• Received: 2017. 06. 05, Revised: 2017. 06. 21, Accepted: 2017. 07. 04.

• This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (IITP-2017-2012-0-00646) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion).

워크(EH-WSN, Energy-harvesting WSN)가 연구되고 있다 [4]. 에너지 수집형 센서 노드들은 태양, 바람, 진동, 온도차와 같은 것들에서 에너지를 생산하여 사용하기 때문에, 제한된 수명을 극복할 수 있다. 이 중에서, 태양 에너지는 다른 에너지원에 비해 높은 전력 밀도(약 15mW/cm<sup>2</sup>)로 인해 더욱 각광받고 있다[5].

에너지 수집형 센서 노드는 주변 환경으로부터 에너지를 계속 수집하여 사용할 수 있지만, 수집량 이상의 에너지를 소모할 경우, 정전상태가 될 수 있다. 반면, 수집되는 에너지를 충분히 사용하지 못하면, 배터리의 한계를 넘어서 버려질 수 있다. 따라서 에너지의 소모량을 수집량에 따라 조절함으로써 노드가 정지하지 않는 범위 내에서 최대한 에너지를 활용하는 기법이 연구되어 왔다[6-8].

한편, 영상 압축 코덱에는 여러 종류가 있지만 각각은 다른 특성을 가지고 있다. MJPEG2K[9]와 같은 코덱은 연산량이 적지만, 압축률이 낮은 반면, HEVC[10]나 H.264[11]와 같은 코덱은 연산량이 많고 압축률이 높다. 그림 1은 H.264와 MJPEG2K 코덱을 이용하여 압축했을 때, 인코딩과 전송에 소모되는 에너지의 비율을 보여준다[12]. WSN에서 사용되는 노드는 연산 능력이나 에너지가 충분하지 않기 때문에, 이에 따라 적절한 영상 압축 코덱을 선택해야 한다.

영상 데이터를 압축, 전송할 경우, 소모 에너지가 크기 때문에 배터리로 동작하는 무선 센서 노드는 짧은 시간 내에 배터리가 고갈되게 된다. 이를 해결하기 위해서는 태양 에너지 수집형 센서 노드를 이용할 수 있지만, 태양 에너지도 수집되는 양에 한계가 있고, 시간에 따라 수집되는 양의 편차가 크기 때문에 데이터 압축과 전송에 필요한 에너지를 효율적으로 관리해 줘야 한다. 하지만 WSN에서의 영상 압축은 아직 연구 초기 단계이고, 특히 EH-WSN에서 사용할 수 있는 기법은 거의 없기 때문에, 이를 해결하기 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 태양 에너지를 이용하는 무선 영상 센서 네트워크(EH-WWSN, Energy-harvesting wireless sensor network)에서, 정전 노드 수를 줄이고, 데이터의 수집량을 증가시키기 위한 영상 압축 코덱 선택 기법을 소개한다. 이 기법에서, 노드는 하루 동안의 태양 에너지 수집량을 예측하고, 가용 에너지양을 시간별로 할당한다. 각 노드는 압축 소모 에너지와 전송 데이터 크기를 고려하여 할당된 에너지를 초과하지 않는 범위 내에서 사용 가능한 코덱을 선택한다. 이는 할당된 에너지가 많을 경우, 연산량이 많고 압축률이 좋은 코덱을 선택하여 전송 데이터 크기를 줄임으로써 중계 노드의 부하를 줄이고, 할당된 에너지가 적을 경우, 연산량이 적은 코덱을 선택하여 에너지 소모를 줄임으로써, 노드의 정전을 방지한다. 또한 연산량이 적은 코덱을 사용해도 에너지가 부족할 것으로 예상될 경우, 전송되는 프레임 수를 낮춰서 할당된 에너지 범위 내에서 동작할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은, 2장에서 WSN에서 영상 데이터를 수집하는 기법에 관한 연구를 소개하고, 3장에서 본 논문에서 제안하

는 기법을 소개한다. 4장에서 제안된 기법의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과를 보이고, 5장에서 결론을 짓는다.

## II. Related Work

영상 데이터를 압축하기 위한 코덱들은 현재까지 많이 연구되어 왔다. 하지만 이 코덱들은 더욱 많은 연산과 에너지 사용하여 압축률을 증가시키는 방향으로 발전해왔다. 이를 무선 센서 노드와 같이 제한된 에너지와 연산 능력을 가진 기기에 적용하기에는 많은 어려움이 있다[1-3]. 이를 해결하기 위해, 최근 WWSN에서 사용하기 위한 영상 압축 기법이 연구되었다. [13]에서는 WSN을 위해 에너지 효율적이고, 지연 시간이 적은 비디오 인코더인 PRISM을 제안하고, H.264와 MJPEG2K 코덱을 이용하여 WSN에서의 성능을 비교하였다. 표 1은 WSN에서 두 코덱으로 인코딩 할 때의 프레임당 소모 에너지를 보여준다. [14]에서는 WSN을 위해 복잡도를 줄인, JPEG기반 영상 압축 기법을 제안했다. [15]에서는 여러 연관된 센서 노드에서 따로 인코딩하고, 이를 모아서 디코딩할 수 있게 하는 DSC(Distributed source coding) 기법을 제안했다. [16]에서는 CS(Compressed sensing)을 이용하여, 비트레이트, 전송률, 에러율 등을 고려하여 영상 품질을 올리기 위한 시스템 구조를 제안했다. [17]에서는 감시 시스템을 위해 비디오 센서를 장착하고, 태양 에너지를 이용하는 무선 센서 노드의 설계 방법을 제안했다. [18]에서는 WWSN에서 멀티미디어 스트리밍 시, 비디오 품질을 높이기 위해, 비디오 특성, 무선 채널의 대역폭 및 품질, 인코딩 종류 등을 고려하여, 각 센서 노드에서 인코딩 시, 최적의 비트 레이트를 할당하는 기법을 제안했다. [19]에서는 클러스터 기반의 WWSN에서 인코딩과 전송에 소모되는 에너지를 최소화하고, 이를 위한 크로스 레이어 설계를 제안했다. [20]에서는 WWSN에서 각 센서 노드의 부호화와 송신 에너지를 최적화하기 위한 MAC 계층에서의 자원 할당 문제를 최소화하는 알고리즘을 제안했다. [21]에서는 WWSN에서 중복된 자료를 제거하여, 부호화와 전송 에너지를 감소시키기 위한 다중-부 요약 기법을 제안했다.

Table 1. Total energy consumption by encoding method(system, transmission)[13]

Sequence	(frame)	
	MJPEG2K Intra	H.264 Intra
Mobile	20.39 (mJ)	64.64 (mJ)
Carphone	11.42 (mJ)	57.71 (mJ)
Foreman	13.65 (mJ)	57.74 (mJ)

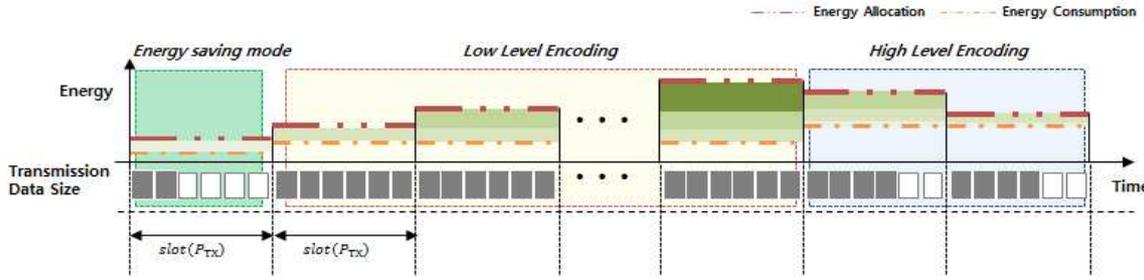


Fig. 2. Energy-aware video coding selection scheme

### III. Energy-aware video coding selection

본 논문에서는 다수의 에너지 수집형 센서 노드가 영상 데이터를 수집하는 EH-WVSN 에서 노드의 에너지 상태(에너지 수집, 소비)에 따라, 다른 압축 코덱을 사용함으로써, 정전 노드의 수를 줄이고 데이터 수집량을 증가시키는 기법을 제안한다. 제안 기법은 실시간 고화질 영상 전송보다는 간헐적으로 동작하는 CCTV, 농작물, 동물 등과 같은 생태계 모니터링, 시설 관리 목적의 모니터링 등과 같이 주기적으로 영상을 확인해야 하는 무선 비디오 센서 네트워크를 기반으로 고안되었다.

#### 1. Node operations

제안 기법에서 노드는  $p_s$  마다 데이터를 수집하고,  $P_{TX}$  마다 수집한 데이터를 인코딩하여 전송한다. 또한 밤과 낮에 관계없이 지속적으로 태양 에너지를 활용하기 위하여 하루를  $p_{slot}$  길이의 슬롯으로 나누고, 수집되는 태양 에너지를 예측하여 각 슬롯에 에너지를 할당한다. 이 때, 수집되는 에너지의 예측에는 Pro-Energy (PROfile energy prediction model) [22] 기법을 사용하고, 에너지 할당에는 Noh [23]이 제안한 기법을 사용한다. 매 슬롯마다 노드는 쓰고 남은 에너지를 고려하여 할당된 에너지를 다시 계산하고, 자신의 소모 에너지를 예측한 뒤, 동작 모드를 선택한다. 그림 2는 제안 기법의 동작을 개략적으로 보여준다.

노드는 해당 슬롯 동안의 에너지 상황에 따라 세 가지 모드 중 하나를 선택한다. 각각의 모드는 다음과 같다.

**고압축 모드:** 각 슬롯에서 고압축 코덱을 사용했을 때의 예상 소모 에너지가 할당된 에너지보다 작을 경우, 할당된 에너지 내에서 고압축 코덱을 사용할 수 있기 때문에 이 모드를 선택한다. 고압축 코덱을 이용할 경우, 인코딩에 소모되는 에너지는 크지만, 데이터 크기를 더욱 줄일 수 있기 때문에 중계 노드의 전송 부하를 줄일 수 있다. 우리는 고압축 코덱으로 H.264 코덱을 사용한다.

**저압축 모드:** 각 슬롯에서 고압축 코덱을 사용했을 때의 예상 소모 에너지가 할당된 에너지보다 크고, 저압축 코덱을 사용했을 때의 소모 에너지는 할당 에너지보다 작을 경우, 에너지가 적게 소모되는 저압축 코덱을 사용한다. 저압축 코덱을 이용할 경우, 인코딩에 소모되는 에너지는 적기 때문에 노드의 에너지

소모를 줄일 수 있다. 우리는 저압축 코덱으로 MJPEG2K 코덱을 사용한다.

**저전력 모드:** 각 슬롯에서 저압축 코덱을 사용했을 때의 예상 소모 에너지가 할당된 에너지보다 클 경우, 노드는 에너지를 더 절약 할 수 있는 저전력 모드를 선택한다. 이 모드에서 노드는 소모 에너지를 줄이기 위해, 전송되는 프레임 수를 줄여서 전송한다.

그림 3은 위의 세 상황일 때의 노드의 동작을 보여준다.

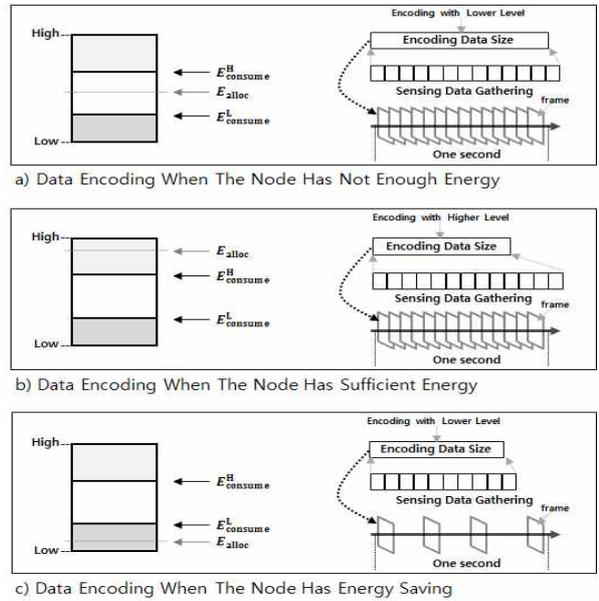


Fig. 3. Node operation in each mode

### 2. Energy consumption estimation

본 논문에서는 각 슬롯에서 사용할 영상 압축 코덱을 선택하기 위해 노드의 소모 에너지를 예측해야 한다. 노드  $i$ 의 소모 에너지  $E_{consume_i}$ 는

$$E_{consume_i} = E_{tx_i} + E_{enc_i} + E_{system_i} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다.  $E_{tx_i}$ 는 노드  $i$ 에서 전송에 소모되는 에너지이고,  $E_{enc_i}$ 는 수집한 데이터를 인코딩할 때 소모하는 에너지,  $E_{system_i}$ 는 전송을 제외한 소모 에너지(수신, 대기 상태 에너지 포함)이다. 노드  $i$ 가 전송에 소모하는 에너지  $E_{tx_i}$ 는 자신이 수

집한 데이터를 전송할 때 소모하는 에너지  $E_{sense_i}$ 와 이웃 노드들로부터 받은 데이터를 전송할 때 소모하는 에너지  $E_{relay_i}$ 로 구분된다. 즉,

$$E_{trans_i} = E_{sense_i} + E_{relay_i} \quad (2)$$

이다. 이 때,  $E_{relay_i}$ 는 이전 슬롯에서 받은 데이터양을 기반으로 이동 평균 기법을 통해 예측할 수 있다. 노드  $i$ 에서 자신이 수집한 데이터를 전송하는 에너지  $E_{sense_i}$ 는 Yang[24]의 에너지 모델에 의해

$$E_{sense_i} = S_i \beta d_i^\alpha \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $\beta$ 는 1비트를 1미터 전송하는데 소모되는 에너지,  $\alpha$ 는 경로 손실, 그리고  $d$ 는 전송 거리를 나타낸다.  $S_i$ 는 노드  $i$ 가 전송할 데이터양이고, 이는 수집되는 영상 데이터양에 따라

$$S_i = \frac{S_{frame} F_{slot}}{R_{comp}} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $S_{frame}$ 는 한 프레임의 크기(RAW 데이터),  $F_{slot}$ 는 1슬롯의 총 프레임 수,  $R_{comp}$ 는 비디오 인코딩 알고리즘의 압축률을 나타낸다. 이를 이용하여 전송 소모 에너지를 계산하기 위해, 위의 식 (4)를 (3)에 대입하면,

$$E_{sense_i} = \frac{S_{frame} F_{slot}}{R_{comp}} \beta d_i^\alpha \quad (5)$$

가 된다. 한 슬롯동안  $R_{fps}$ 의 프레임 레이트(fps)로 영상 데이터가 수집될 경우, 수집되는 총 프레임 수  $F_{slot}$ 은

$$F_{slot} = R_{fps} p_{slot} \quad (6)$$

가 되기 때문에 노드에서 수집한 데이터를 전송하는데 소모되는 에너지는

$$E_{sense_i} = \frac{S_{frame} R_{fps} p_{slot}}{R_{comp}} \beta d_i^\alpha \quad (7)$$

가 된다.

노드  $i$ 에서 수집한 데이터를 인코딩할 때 소모하는 에너지  $E_{enc_i}$ 는 수집되는 프레임 수  $F_{slot}$ 와 1프레임을 인코딩하는데 필요한 에너지  $E_{enc}^{frame}$ 를 이용해

$$E_{enc_i} = F_{slot} E_{enc}^{frame} \quad (8)$$

로 나타낼 수 있다. 위의 식 (7)과 (8)을 (1)에 대입함으로써 노드  $i$ 의 한 슬롯동안 소모 에너지를 구할 수 있다.

### 3. Mode selection

노드는 슬롯마다 소모 에너지양을 예측하고, 이를 할당된 에너지와 비교하여 동작 모드를 결정한다. 노드  $i$ 의 한 슬롯동안 할당된 에너지가  $E_{alloc_i}$ 일 때, 노드가 고압축 코덱을 이용하여 데이터를 압축, 전송할 경우, 소모 에너지가  $E_{consume_i}^H$ 일 때,

$$E_{alloc_i} \geq E_{consume_i}^H \quad (9)$$

을 만족하면, 할당된 에너지 내에서 고압축 인코딩 방식을 사용할 수 있다는 것을 의미하기 때문에, 고압축 모드를 선택하여 영상 데이터 압축률을 높인다. 만약 식 (9)을 만족하지 않고, 저압축 코덱을 이용하여 데이터를 압축, 전송할 경우, 소모 에너지가  $E_{consume_i}^L$ 일 때,

$$E_{alloc_i} \geq E_{consume_i}^L \quad (10)$$

를 만족하면, 노드는 저압축 인코딩 방식을 사용할 수 있다는 것을 의미하기 때문에, 저압축 인코딩 방식을 선택하여 에너지 소모를 줄인다. 만약, 식 (9)와 (10)을 전부 만족하지 않을 경우, 어떠한 코덱을 사용해도 노드는 할당된 에너지보다 많은 에너지를 사용하게 된다. 이 때, 노드는 에너지 절약을 위해 절전 모드로 동작하게 된다.

### 4. Frame rate selection

제안된 기법에서 절전 모드인 노드는 프레임 레이트를 낮춤으로써, 에너지를 절약한다. 이를 위해  $E_{alloc_i}$ 로 전송 가능한 프레임 레이트를 구해야 한다.

노드는 할당된 에너지 내에서 에너지를 소모해야 하기 때문에

$$E_{alloc_i} \geq E_{consume_i}^S \quad (11)$$

를 만족해야 한다. 여기서  $E_{consume_i}^S$ 는 절전 모드에서의 소모 에너지이다. 위의 식 (11)을 만족시키는 프레임 레이트를 구하기 위해  $E_{consume_i}^S$ 를 구하면

$$E_{consume_i}^S = E_{tx_i}^S + E_{enc_i}^S + E_{system_i}^S \quad (12)$$

가 된다. 여기서  $E_{tx_i}^S$ 는 절전 모드일 때의 전송 에너지,  $E_{enc_i}^S$ 는 절전 모드일 때의 압축 에너지,  $E_{system_i}^S$ 는 절전 모드일 때의 전송을 제외한 소모 에너지이다. 위의 식 (12)에 식 (2)~(8)을 대입하면

$$E_{alloc_i} \geq \frac{S_{frame} R_{fps} p_{slot}}{R_{comp}} \beta d_i^\alpha + E_{relay_i} + R_{fps} p_{slot} E_{enc}^{frame} + E_{system_i}^S \quad (13)$$

가 된다. 이를 절전 모드일 때의 프레임 레이트  $R_{fps_i}^S$ 에 대하여 정리하면

$$R_{fps_i}^S \leq \frac{E_{alloc_i} - E_{system_i}^S - E_{relay_i}}{\frac{S_{frame} p_{slot}}{R_{comp}} \beta d_i^\alpha + p_{slot} E_{enc}^{frame}} \quad (14)$$

가 된다. 절전 모드는 위의 식을 만족시키는  $R_{fps_i}^S$ 를 이용하여 할당된 에너지 내에서 영상 데이터를 수집 할 수 있다. 그림 4는 위와 같은 노드의 동작 과정을 보여주는 의사 코드를 보여준다.

**Algorithm**

```

01: Allocate harvesting energy
02: Calculate  $E_{consume_i}^H$  and  $E_{consume_i}^L$  using (1),(7),(8)
03: if  $E_{alloc_i} \geq E_{consume_i}^H$  then
04:   current_mode  $\leftarrow$  High_encoding_mode;
05:   fps  $\leftarrow$  High_level;
06: else if  $E_{alloc_i} \geq E_{consume_i}^L$  then
07:   current_mode  $\leftarrow$  Low_encoding_mode;
08:   fps  $\leftarrow$  Low_level;
09: else if  $E_{alloc_i} < E_{consume_i}^L$  then
10:   current_mode  $\leftarrow$  Energy_saving_mode;
11:   calculate  $R_{fps}^S$ ;
12:   fps  $\leftarrow$   $R_{fps}^S$ ;
13: end if
    
```

Fig 4. Mode selection algorithm

#### IV. Performance Evaluation

제안된 기법의 성능 분석을 위해 SolarCastalia[25] 시뮬레이터를 사용하여 1) 제안 기법, 2) 저압축 비디오 인코딩 기법 (MJPEG2K intra)만을 사용한 경우, 그리고 3) 고압축 비디오 인코딩 기법(H.264 Intra)만을 사용한 경우의 총 3가지 기법의 정전 노드 수, 잔여 에너지양, 그리고 싱크 노드에서 수집한 데이터 수를 측정했다. 시뮬레이션은 100m × 100m 크기의 필드에 100, 200, 300개의 노드를 무작위로 배치하고, Minimum Depth Tree (MDT) 라우팅 기법을 사용하여 수집한 데이터를 싱크 노드에 전송했다. 시뮬레이션은 1,000 라운드 동안 수행했으며, 각 시뮬레이션을 10번 반복한 평균값을 구했다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 주요 인자들을 보여준다.

Table 2. Simulation environments

Parameter	Values
Nodes	100/200/300
Field Size	100 × 100 m
Maximum round	1000
Deployment	Random
Radio range	10 ~ 20 m
Video coding	MJPEG2K intra H.264 intra
Frame rate	8 ~ 12 fps
Sample duration	10 s
Baud rate	250 kbps
Transmission period	600 s
Sensing period	600 s

Table. 3. The number of blackout nodes with the number of nodes

Nodes	100	200	300
Proposed Scheme	2.341	12.719	17.869
H.264 Intra	97.657	196.409	295.189
MJPEG2K Intra	3.639	15.375	18.915

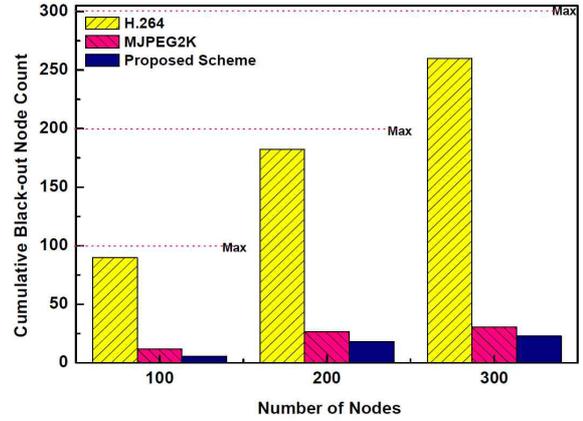


Fig. 5. Comparison of the number of blackout nodes according to the number of nodes

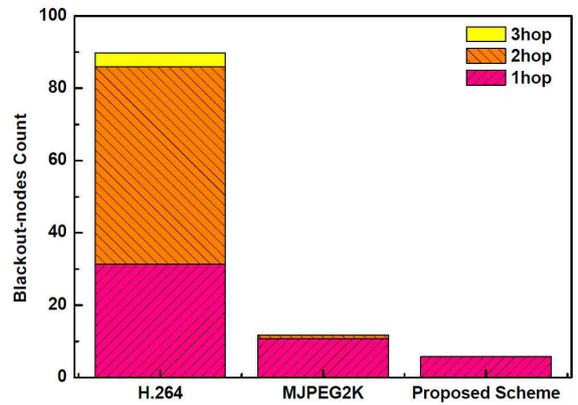


Fig. 6. Comparison of the number of blackout nodes per hop count

그림 5과 표 3은 노드 100, 200, 300개일 때, 1,000 라운드 동안 발생한 정전 노드 수를 비교한 것이고, 그림 6은 구간별 발생한 정전 노드의 수를 비교한 것이다. 제안 기법은 평균 5.8~9.1의 정전 노드가 발생하였고, H.264는 87~91.7%, MJPEG2K는 10.2~13.3%의 정전 노드가 발생하였다. H.264만을 이용할 경우 인코딩 연산량이 많기 때문에, 대부분의 노드의 에너지가 고갈되었다. 따라서 EH-WVSN의 제한된 성능을 가진 노드에서는 H.264와 같은 연산량이 많은 기법은 사용할 수 없다는 것을 알 수 있다. MJPEG2K는 연산량이 적기 때문에 정전 노드의 발생이 적은 것을 알 수 있다. 제안된 기법은 에너지 할당량에 따라 소모량을 조절함으로써, 정전 노드 발생을 잘 억제하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 7은 노드 100, 200, 300개 일 때, 시간에 따른 수집된 데이터양 변화를 보여주고, 그림 8은 1000라운드에서의 수집된 누적 데이터양을 보여준다. H.264만을 사용할 경우, 대부분의 노드가 정전 상태가 되기 때문에, 노드 수에 관계없이 수집되는 데이터가 거의 없는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 제안된 기법과 MJPEG2K는 비슷한 수의 정전노드가 발생한 것에 비해, 수집된 데이터양은 제안된 기법이 약 8.2~18.8% 더 많은

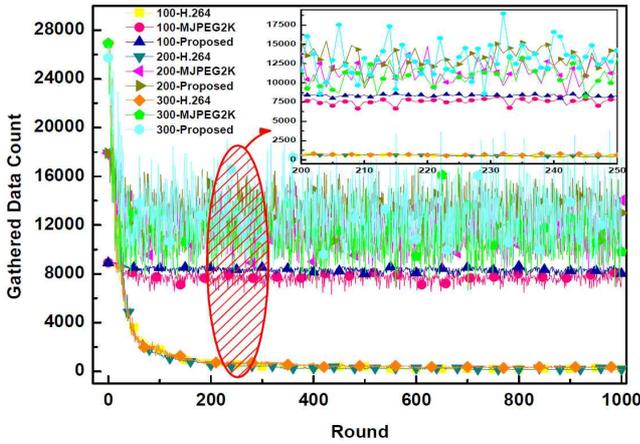


Fig. 7. Comparison of the amount of obtained data over time

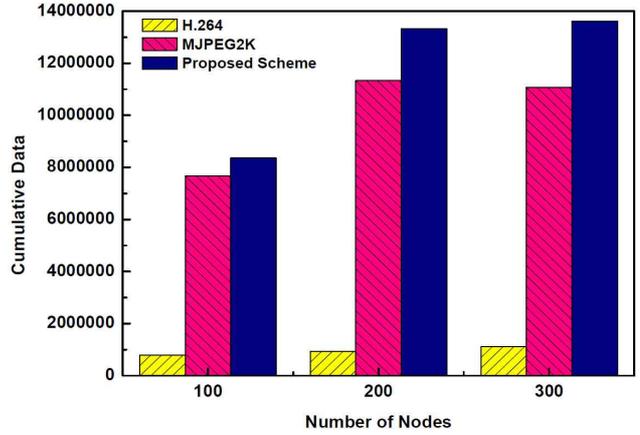


Fig. 8. Comparison of the amount of data according to the number of nodes

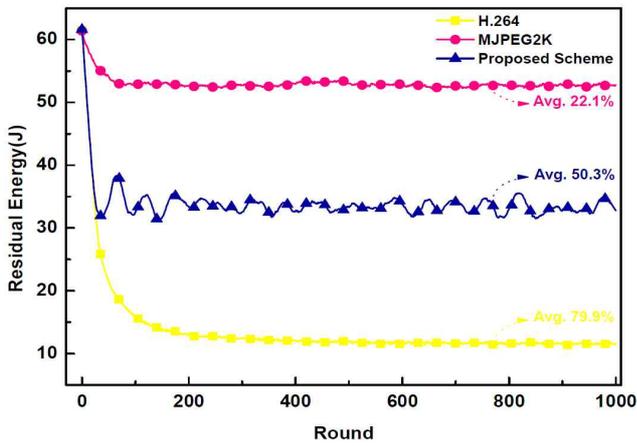


Fig. 9. Comparison of the amount of residual energy over time

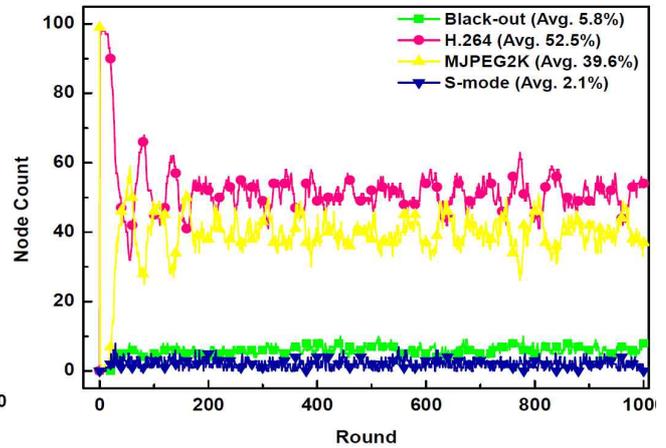


Fig. 10. The number of nodes in each mode

것을 알 수 있다. 이는 에너지가 상대적으로 적은 외곽 노드가 H.264를 선택하여 전송되는 데이터양을 줄임으로써, 중계 노드의 에너지 소모를 줄이고, 절전 모드의 사용으로 싱크 노드에서 가까운 노드의 정전을 막았기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

그림 9는 노드 100개 일 때 각 기법별 평균 잔존 에너지를 비교한 것이다. 여기서 MJPEG2K는 평균 22.1%의 에너지밖에 사용하지 않지만 그림 8의 데이터 수집량이 제안된 기법보다 적다. 이는 제안된 기법이 싱크 노드에서 먼 노드들의 에너지를 더 소모하여 중계 노드의 부하를 줄였기 때문이다. MJPEG2K 기법은 외곽 노드의 에너지가 남는 반면, 싱크 노드 주변 노드들의 에너지가 부족하여 데이터 전달하지 못했기 때문인 것을 알 수 있다. H.264는 노드의 위치에 관계없이 H.264 알고리즘의 과도한 연산량으로 에너지 소모가 큰 것을 알 수 있다.

그림 10은 노드 100개 일 때 라운드에 따른 제안 기법의 노드의 동작 상태의 분포를 나타낸 것이다. 여기서 정전 노드는 평균 5.8% 발생하였고, 고압축 코덱을 사용하는 노드는 52.5%, 저압축 코덱을 사용하는 노드는 39.6%, 에너지 절약 모드는 2.1%인 것으로 확인됐다. 제안된 기법의 노드들은 정전 상태나 절전모드가 되지 않도록 에너지에 적응적으로 자신의 모드를 선택하고 있는 것을 알 수 있다.

위의 결과들에서 제안 기법은 에너지 수집형 무선 센서 네트워크에서 영상 데이터를 전송할 때, 적응적으로 코덱을 선택하여 다른 기법들에 비해 정전 노드의 발생을 잘 억제하고, 더욱 많은 데이터를 수집할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

### V. Conclusions

본 논문에서는 EH-WVSN에서 지속적인 비디오 모니터링을 위해 할당된 에너지를 이용하여 영상 데이터 압축 코덱을 선택하는 기법을 제안했다. 제안된 기법은 에너지 상황에 적합한 압축 코덱을 선택하여, 중계 노드의 에너지 고갈을 막고, 지속적으로 데이터를 전송할 수 있게 하여 싱크 노드에 도달한 데이터양을 증가시킨다. 실험 결과, 본 기법은 다른 기법에 비해 가장 많이 중계 노드의 에너지 고갈을 막음으로써, 더 많은 데이터를 수집할 수 있었다. 우리는 이를 앞으로 두 개의 코덱만이 아닌, 더욱 다양한 코덱으로 에너지 소모를 세분화하는 방법을 연구할 것이다.

## REFERENCES

- [1] IF. Akyildiz, M. Tommaso, and RC. Kaushik, "A Survey on Wireless Multimedia Sensor Networks," *Computer networks* Vol. 51, No. 4, pp. 921-960, March 2007.
- [2] S. Misra, M. Reisslein, and G. Xue, "A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks," *IEEE communications surveys & tutorials* Vol. 10, No. 4, pp. 18-39, Fourth Quarter 2008.
- [3] IF. Akyildiz, M. Tommaso, and RC. Kaushik, "Wireless Multimedia Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications* Vol. 14, No. 6, pp. 32-39, December 2007.
- [4] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol. 13, No. 3, pp. 443-461, Third Quarter 2011.
- [5] S. J. Roundy, "Energy Scavenging for Wireless Sensor Nodes with a Focus on Vibration to Electricity Conversion," Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, 2003.
- [6] H. Yoo, M. Shim, and D. Kim, "Dynamic Duty-Cycle Scheduling Schemes for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks," *IEEE communications letters*, Vol. 16, No. 2, pp. 202-204, February 2012.
- [7] RJM. Vullers, R. Van Schaijk, HJ. Visser, J. Penders, and C. Van Hoof, "Energy Harvesting for Autonomous Wireless Sensor Networks," *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, Vol. 2, No. 2, pp. 29-38, June 2010.
- [8] S. Basagni, MY. Naderi, C. Petrioli, and D. Spenza, "Wireless Sensor Networks with Energy Harvesting," *Mobile Ad Hoc Networking: The Cutting Edge Directions*, Wiley, pp. 701-736, 2013.
- [9] A. Luthra, and PN. Topiwala, "Overview of the H. 264/AVC video coding standard," *Proceedings of the 48th SPIE's Optical Science and Technology International Society for Optics and Photonics*, pp. 417-431, 2003.
- [10] T. Fukuhara, K. Katoh, S. Kimura, K. Hosaka, and A. Leung, "Motion-JPEG2000 standardization and target market," *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, pp. 57-60, 2000.
- [11] GJ. Sullivan, J. Ohm, W. Han, and T. Wiegand, "Overview of The High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard," *IEEE Trans. on circuits and systems for video technology*, Vol. 22, No. 12, pp. 1649-1668, December 2012.
- [12] J. J. Ahmad, HA. Khan, and S. A. Khayam, "Energy efficient video compression for wireless sensor networks," *Proceedings of the 43rd Annual Conference on Information Sciences and System(CISS)*, pp.629-634, 2009.
- [13] R. Puri, A. Majumdar, and P. Ishwar, "Distributed Video Coding in Wireless Sensor Networks," *IEEE Signal Processing Magazine* Vol. 23, No. 4, pp. 94-106, July 2006.
- [14] E. Magli, M. Mancin, and L. Merello, "Low-complexity video compression for wireless sensor networks," *Proceedings of the International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 585-588, 2003.
- [15] Z. Xiong, AD. Liveris, and S. Cheng, "Distributed Source Coding for Sensor Networks," *IEEE signal processing magazine* Vol. 21, No. 5, pp. 80-94, September 2004.
- [16] S. Pudlewski, A. Prasanna, and T. Melodia, "Compressed-Sensing-Enabled Video Streaming for Wireless Multimedia Sensor Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol. 11, No. 6, pp. 1060-1072, June 2012.
- [17] M. Magno, D. Brunelli, and P. Zappi, "A solar-powered video sensor node for energy efficient multimodal surveillance," *Proceedings of the 11st EUROMICRO Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools*, pp. 512-519, 2008.
- [18] T. H. Nguyen, N. S. Vo, B. C. Huynh, H. M. Nguyen, and D. T. Huynh, "Joint time switching and rate allocation optimization for energy efficiency in wireless multimedia sensor networks," *Proceedings of the 2017 International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications & Computing (SigTelCom)*, pp. 175-180, 2017.
- [19] A. Arar, A. Mohamed, A. A. El-Sherif, and V. C. M. Leung, "Optimal Resource Allocation for Green and Clustered Video Sensor Networks," *IEEE Systems Journal*, Vol. PP, No. 99, pp. 1-12, 2017.
- [20] A. A. El-Sherif, A. Mohamed and V. C. M. Leung, "Optimum power and rate allocation in video sensor networks," *Proceedings of the 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pp. 480-486, 2013.
- [21] S. H. Ou, C. H. Lee, V. S. Somayazulu, Y. K. Chen and S. Y. Chien, "On-Line Multi-View Video Summarization for Wireless Video Sensor Network," in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 9, no. 1, pp. 165-179, Feb. 2015.
- [22] A. Cammarano, C. Petrioli, and D. Spenza, "Pro-energy: A novel energy prediction model for solar and wind energy-harvesting wireless sensor networks," *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, pp. 75-83, 2012.
- [23] D. K. Noh and K. Kang, "Balanced Energy Allocation Scheme for A Solar-Powered Sensor System and Its Effects on Network-Wide Performance," *Journal of*

Computer and System Sciences, Vol. 77, No. 5, pp. 917-932, September 2011.

- [24] Y. Yang, L. Wang, DK. Noh, HK. Le, and TF. Abdelzaher, "Solarstore: enhancing data reliability in solar-powered storage-centric sensor networks," Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), pp. 333-346, 2009.
- [25] J. Yi, M. Kang, and D. Noh, "SolarCastalia: Solar Energy Harvesting Wireless Sensor Network Simulator," International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 2015, pp. 10, May, 2015.

### Authors



Jun Min Yi received the M.S. degree in Electronic Engineering from Soongsil University, Korea, in 2015. He is currently Ph.D. candidate in Department of Software Convergence at Soongsil University. His research interests include wireless sensor network, cyber physical system, and embedded system software.



Dong Kun Noh received the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Seoul National University in 2007. He is currently associate professor in Department of Software Convergence at Soongsil University. His primary research interests include embedded system, mobile computing, and ubiquitous sensor network.



IkJune Yoon received the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Seoul National University, Korea, in 2015. He is currently an assistant professor in Department of Smart Systems Software at Soongsil University. His research interests include wireless sensor network and embedded system software.