

태양에너지 하베스팅을 위한 자가발전 아두이노 시스템의 설계 및 동작

Design and Operation of Self-Powered Arduino System for Solar Energy Harvesting

윤 일 평*, 조 승 명*, 안 지 용*, 오 석 진*, 민 경 식*

Il Pyung Yoon*, Cho Seung Myeong*, Ji Yong An*, Seok Jin Oh*, Kyeong-Sik Min*

Abstract

In this paper, we design a self-powered Arduino system for solar energy harvesting and explain its operation. To perform the operation, the Arduino system senses the amount of solar energy that changes every moment and adjusts the ratio of the active mode and sleep mode operation time according to a given solar light intensity. If the intensity of sunlight is strong enough, the Arduino system can be continuously driven in active mode and receive sufficient power from sunlight. If not, the system can run in sleep mode to minimize power consumption. As a result, it can be seen that energy consumption can be minimized by reducing power consumption by up to 81.7% when using sleep mode compared to continuously driving active mode. Also, when the light intensity is at an intermediate level, the ratio between the active mode and the sleep mode is appropriately adjusted according to the light intensity to operate. The method of self-control of the operating time ratio of active mode and sleep mode, proposed in this paper, is thought to be helpful in energy-efficient operation of the self-powered systems for wearables and bio-health applications.

요 약

본 논문에서는 태양에너지 하베스팅을 위한 자가발전 아두이노 시스템을 설계하고 이의 동작을 설명한다. 이를 위해서 아두이노 시스템이 시시각각 변하는 태양에너지의 양을 센싱하고 이에 따라서 active mode와 sleep mode의 동작 시간의 비율을 스스로 조정해서 주어진 태양 빛의 세기에 대해서 최적으로 동작할 수 있는 동작 조건을 스스로 찾아가는 방법을 설명하고 이의 동작을 검증한다. 본 논문에서 개발한 active mode와 sleep mode의 동작 시간의 비율의 자가 조절을 통해서 태양 빛의 세기가 충분히 강할 경우에는 아두이노 시스템이 active mode로 지속적으로 구동되고, 태양광으로부터 전력을 충분히 공급받을 수 없는 경우 sleep mode를 사용하여 전력 소모를 최소화한다. 그 결과 active mode를 지속적으로 구동하는 것에 비해 sleep mode를 사용하는 경우 전력 소모를 최대 81.7% 줄여 에너지 소비를 최소화할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 빛의 세기가 중간 수준일 때에는 active mode와 sleep mode의 비율을 빛의 세기에 맞게 적절하게 배분하여 동작하게 한다. 본 논문에서 제안한, 스스로 active mode와 sleep mode의 동작 시간 비율을 조절하는 방법은 특히 높은 전력 소비 효율 특성이 필요한 웨어러블 및 바이오-헬스용 자가발전 시스템을 에너지 효율적으로 동작시킬 때에 도움이 될 것으로 생각된다.

Key words : self-powered, arduino system, energy harvesting, solar energy

* Dept. of Electronics Engineering, Kookmin University

★ Corresponding author

E-mail : mks@kookmin.ac.kr, Tel : +82-2-910-4634

※ Acknowledgment

The work was financially supported by NRF-2022R1A5A7000765, NRF-2021R1A2C1011631, NRF-2021M3F3A2A01037972, and SRFC-TA1903-01. The CAD tools were supported by IDEC, Daejeon, Korea. Manuscript received Sep. 19, 2022; revised Sep. 23, 2022; accepted Sep. 27, 2022.

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.

I. 서론

전 세계 웨어러블 기기 시장은 급속하게 성장하고 있다[1]. 최근 전자기기는 웨어러블 기기와 같이 소형화, 모바일화, 저전력화되고, 사물인터넷(IoT) 산업이 발전함에 따라 실내가 아닌 야외에서의 전자기기 이용 빈도와 사용시간이 급격히 증가하고 있다[2]. 일정하고 안정적인 전원이 있는 실내와 달리 야외에서는 전력을 공급해줄 전원이 없어 저전력, 고효율 에너지 소비는 전자기기의 동작에서 중요한 요소가 되었다[3]. 휴대를 위한 전자기기는 크기가 작고 가벼워야 하기 때문에 일정 크기 이상의 배터리를 사용할 수 없는 제한이 있어 오랜 시간 사용해야 하는 환경에서는 배터리 이외에 전력을 얻을 방법이 필요하다. 이때 에너지 하베스팅 시스템을 이용하면 야외에서도 전력을 공급받을 수 있어 보다 많은 가용 시간을 얻을 수 있어서 배터리에만 의존하는 기존의 사용 시간의 한계를 극복할 수 있다[4]. 에너지 하베스팅 시스템은 진동, 열, 중력, 위치, 광에너지 등 쉽게 버려지는 에너지를 이용, 재생산하는 기술로 자연환경의 주변 에너지를 전기 에너지로 변환하여 작고 가벼운 휴대용 전자기기 및 웨어러블 기기 등의 충전에 사용할 수 있다[5].

태양광으로부터 전력을 공급받는 시스템의 경우 시간, 공간, 날씨, 태양의 위치 등에 따라 태양으로부터 받는 빛의 세기가 달라지므로 공급받는 전력량이 달라진다[6]. 기존의 시스템의 경우 공급받는 전력량의 크기와 상관없이 항상 기기가 작동하여 공급받는 전력량이 적을 때에도 전력 소모가 많아 긴 가용시간을 확보하지 못하였다. 공급받는 전력량이 작은 경우 절전모드 같은 전력 소모를 줄여주는 시스템을 적절히 사용할 수 있다면 시스템의 구동 시간을 늘릴 수 있다.

이를 위해서 본 논문에서는 태양에너지 하베스팅을 위한 자가발전 아두이노 시스템을 설계하고 이의 동작을 설명한다. 위에서 언급한 바와 같이 태양에너지가 발생할 수 있는 전기 에너지의 양은 태양 빛의 세기에 따라서 시시각각 변하기 때문에, 에너지 하베스팅에 의해서 동작하는 자가발전 시스템을 설계하고 이를 동작시키기 위해서는 시시각각 변하는 하베스팅할 수 있는 에너지의 양을 센싱하여 항상 최적의 조건에서 자가발전 시스템을 동작시키는 방법을 개발해야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 아두이노 시스템이 시시각각 변하는 태양에너지의 양을 센싱하고 이에 따라서 active mode와 sleep mode의 동작 시간의 비율을 스스로 조정해서 주어진 태양 빛의 세기에 대해서 최적으로 동작할 수 있는 동작

조건을 스스로 찾아가는 방법을 설명하고 이의 동작을 검증한다.

II. 본론

그림 1. (a)는 태양에너지 빛의 세기에 따라서 아두이노 시스템의 active와 sleep mode의 동작 시간을 능동적으로 조절할 수 있는 태양에너지 하베스팅용 아두이노 시스템의 구성도를 나타낸다. 그림 1. (b)는 본 연구를 위해서 제작한 태양에너지 하베스팅 칩과 아두이노 칩을 단일 보드에 제작하여 통합해서 동작하게 한 PCB 보드를 나타낸다. 그림 1. (b)에서 태양에너지 하베스팅 칩과 아두이노 칩은 하나의 보드에 집적되어 있으며, 배터리는 보드의 외부에 별도로 연결된다.

그림 1. (a)에서 태양으로부터 빛을 받아 솔라 셀이 전력을 생산하면 그림 1. (b)의 보드에서 에너지 하베스팅 칩은 솔라 셀의 에너지를 4.2V의 정적 전압으로 변환하여 아두이노 칩에 공급하게 된다. 또한, 아두이노 칩이 동작하는 모드는 active mode와 sleep mode가 있고, active mode에서는 센서 구동, 주변기기 구동 등의 동작을 수행할 수 있고, sleep mode에서는 아두이노 칩의 동작을 대기 상태로 돌려서 전력 소모를 최소화하게 된다.

서론에서 설명한 바와 같이 태양 빛의 세기가 시시각각 변하게 되므로 에너지 하베스팅에서 공급하는 전력량

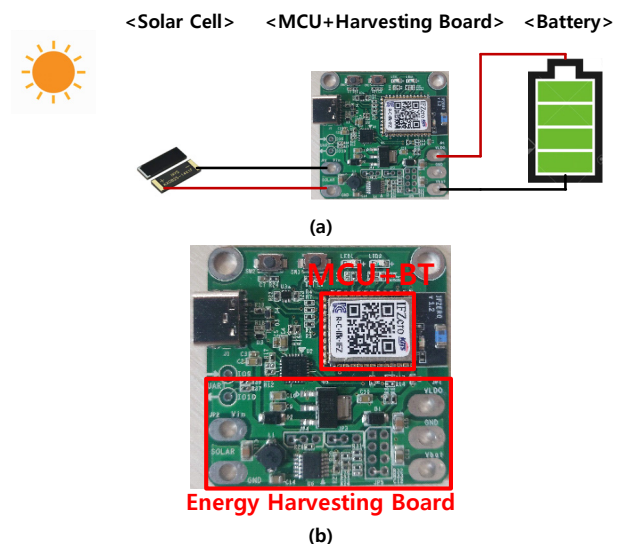


Fig. 1. (a) Block diagram of Solar Energy Harvesting and Arduino System (b) Designed and Fabricated PCB of Solar Energy Harvesting and Arduino System.
 그림 1. (a) 솔라 에너지 하베스팅과 아두이노 시스템의 구성도 (b) 설계 및 제작된 솔라 에너지 하베스팅과 아두이노 시스템을 통합한 PCB

도 시시각각 변하게 된다. 시시각각 변하는 전력량에 따라서 적절하게 아두이노를 동작시키기 위해서 아두이노 칩은 태양 빛의 세기를 주기적으로 센싱하여 에너지가 적을 때에는 sleep mode 시간을 길게 하고, 빛의 세기가 강해서 에너지가 충분할 때에는 active mode의 시간을 길게 하여 상황에 따라 능동적으로 전력 소비를 조절할 수 있게 할 수 있다. 그 결과, 외부로부터 공급받는 전력량에 따라서 아두이노의 sleep과 active mode의 동작 시간의 비율을 적절하게 조절함으로써 하베스팅되는 에너지양에 따라서 아두이노의 동작을 최적화할 수 있게 된다[7], [8].

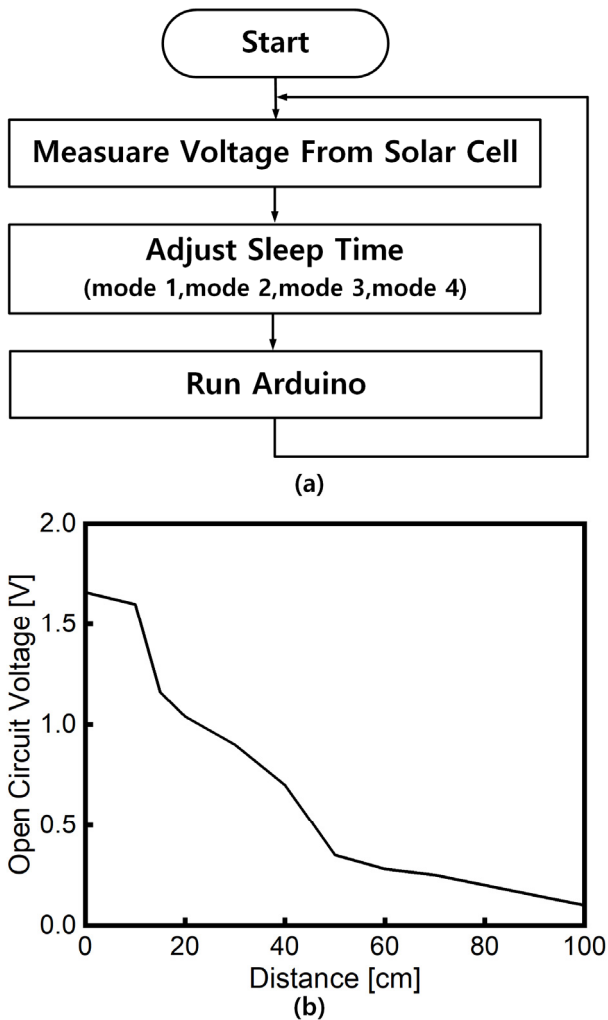


Fig. 2. (a) Flow Chart of Operation of Solar Energy Harvesting and Arduino System (b) Solar cell's open circuit voltage versus the distance between solar light bulb and solar cell.

그림 2. (a) 태양광 하베스팅과 아두이노 통합 시스템의 동작 순서도 (b) 태양 빛 전구와 솔라 셀의 거리에 따른 솔라 셀의 오픈 회로 전압의 측정

그림 2. (a)는 개발한 태양에너지 하베스팅용 아두이노 시스템의 순서도를 보인다. 시스템이 구동되면 아두이노에서 솔라 셀로부터 생산된 전압을 측정하게 된다. 그 다음, 측정된 전압에 따라 4 가지 mode 중 하나를 택하여 아두이노의 동작 시간을 결정하게 된다. Mode가 결정된 후, 해당 동작 시간에 따라 아두이노가 동작하고, 위의 동작을 반복한다. 그림 2. (b)는 광원과 솔라 셀 사이의 거리와 해당 거리에 따른 솔라 셀의 VOC 값을 보인다. 태양광의 밝기가 밝을수록 전력을 많이 생산할 수 있어 광원과 솔라 셀의 거리가 가까울수록 솔라셀에서 생산되는 전력은 증가하고, 멀어질수록 생산되는 전력이 낮아지는 것을 보인다.

표 1은 광원과의 거리에 따라 솔라 셀에서 생산되는 VOC, ISC 그리고 Harvested Power를 보인다. 광원과의 거리가 0cm인 경우 태양광으로부터 받을 수 있는 최대의 전력을 받는 상황을 가정한 것으로, VOC와 ISC가 각각 1.66V, 510mA 생산되는 것을 보인다. 광원과의 거리가 멀어질수록 솔라 셀에서 생산되는 VOC와 ISC가 감소하고, 이에 따라 공급받는 전력이 감소하는 것을 보인다.

Table 1. Open Circuit Voltage, Short Circuit Current, Harvested Power of Solar Cell.

표 1. 솔라 셀의 오픈 회로 전압, 단락 회로 전류, 수집된 전력

광원과의 거리	VOC	ISC	P
0 cm	1.66 V	510 mA	846.6 mW
15 cm	1.16 V	315 mA	365.4 mW
30 cm	0.90 V	200 mA	180 mW
60 cm	0.28 V	70 mA	19.6 mW

그림 3. (a)은 그림 2. (a)에서 보인 각 mode에 대한 태양에너지 하베스팅용 아두이노 시스템의 동작을 보인다. Mode 1의 경우 sleep mode 없이 한 주기 동안 active mode로 동작한다. Mode 2의 경우 active mode와 sleep mode의 비율을 각각 50%로 하여 동작하는 것을 보이며, mode 3는 active mode, sleep mode의 비율을 각각 25%, 75%로 동작하는 것을 보인다. 마지막으로 mode 4는 active mode 없이 sleep mode로 해당 주기를 동작하는 것을 보인다.

그림 3. (b)는 그림 3. (a)에서 보인 4 가지 경우에 대해 각각의 전력 소비량을 보인다. Mode 1일 때 181mW로 가장 큰 전력 소비를 보이며, mode가 바뀌며 active mode의 동작 비율이 감소하여 최종적으로 mode 4에서의 전력 소비량이 33mW로 가장 적은 것을 보인다.

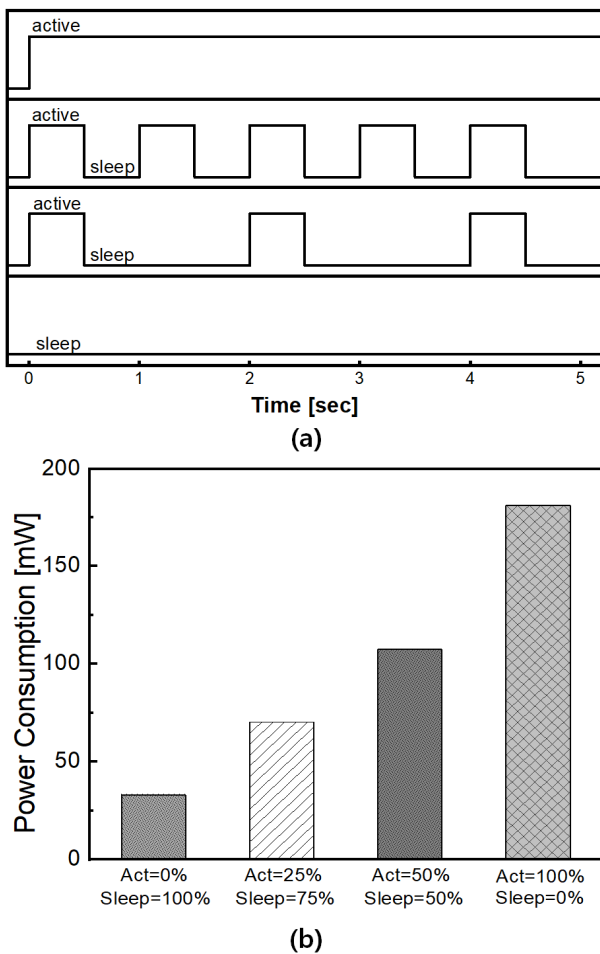


Fig. 3. (a) Four cases of active mode and sleep mode time (b) Power consumption of Arduino system of four cases.

그림 3. (a) Active mode time과 sleep mode time의 4 가지 경우 (b) 4 가지 경우의 아두이노 시스템의 전력 소비량

III. 결론

본 논문에서는 효율적인 전력 소비 특성을 갖고 있는 웨어러블 및 바이오 헬스 시스템을 구현하기 위해서 스스로 active mode와 sleep mode의 동작 시간 비율을 조절하는 태양에너지 하베스팅용 자가발전 아두이노 시스템을 제안한다. 본 논문의 실험을 통해 본 논문에서 제안한 태양에너지 하베스팅을 위한 자가발전 아두이노 시스템은 active 시간과 sleep 시간의 비율이 1:1인 경우 40.8%, 1:3인 시스템의 경우 61.3%, sleep으로 지속적인 구동을 하는 경우 소모전력이 81.7% 감소함을 보인다. 본 논문의 연구 결과는 외부로부터 전력을 공급받을 수 없는 환경이나 배터리의 용량이 작은 휴대용, 웨어러블 기기와 사물인터넷(IoT) 등 저전력을 요구하는 전자 기기에서 유용할 것으로 기대된다.

References

[1] R. S. Bisht, S. Jain, and N. Tewari, "Study of Wearable IoT devices in 2021: Analysis Future Prospects," *Proc. 2021 2nd Int. Conf. Intell. Eng. Manag, ICIEM 2021*, pp.577-581, 2021. DOI: 10.1109/ICIEM51511.2021.9445334.

[2] S. Hodges, S. Taylor, N. Villar, J. Scott, D. Bial, and P. T. Fischer, "Prototyping connected devices for the internet of things," *Computer (Long. Beach. Calif)*, vol.46, no.2, pp.26-34, 2013. DOI: 10.1109/MC.2012.394.

[3] J. An, S. Oh, T. Van Nguyen, and K. S. Min, "Self-Reset Zero-Current Switching Circuit for Low-Power and Energy-Efficient Thermoelectric Energy Harvesting," *Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, vol.25, no.1, pp.206-211, 2021. DOI: 10.7471/ikeee.2021.25.1.206

[4] Y. Rao, S. Cheng, and D. P. Arnold, "An energy harvesting system for passively generating power from human activities," *J. Micromechanics Microengineering*, vol.23, no.11, 2013. DOI: 10.1088/0960-1317/23/11/114012.

[5] P. H. Chou and S. Kim, "Techniques for Maximizing Efficiency of Solar Energy Harvesting Systems," *ICMU Conf*, pp.1-7, 2010. DOI: 10.1.1.211.3491

[6] A. Mohammad Bagher, "Types of Solar Cells and Application," *Am. J. Opt. Photonics*, vol.3, no.5, p.94, 2015. DOI: 10.11648/j.ajop.20150305.17.

[7] S. M. Asenov and D. M. Tokmakov, "Power Optimization of LoRaWAN Wireless End Sensor Node," *2020 29th Int. Sci. Conf. Electron*, pp.2020-2023, 2020. DOI: 10.1109/ET50336.2020.9238204.

[8] A. U. Rehman and M. T. Iqbal, "Design of an Ultra-Low Powered Data-Logger for Stand-Alone PV Energy Systems," *Eur. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol.4, no.6, pp.1-6, 2020. DOI: 10.24018/ejece.2020.4.6.261.

BIOGRAPHY

Ilpyung Yoon (Member)

2011 : BS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.

Kyeong-sik Min (Member)

1991 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.
1993 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.
1997 : PhD degree in electrical Engineering, KAIST.

1997~2001 : Research Engineer, Hynix Semiconductor Inc.

2001~2002 : Research Engineer, University of Tokyo.

2002~2022 : Professor, Kookmin University.

Seung-myeong Cho (Member)

2019 : BS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.

Jiyong An (Member)

2015 : BS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.
2021 : MS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.

Seokjin Oh (Member)

2015 : BS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.
2021 : MS degree in Electrical Engineering, Kookmin University.