

논문 2014-09-10

전자가격표시시스템의 소모전력 분석 및 최소화 방안

(Power Consumption Analysis and Minimization of Electronic Shelf Label System)

우 리 나 라, 김 정 준, 서 대 화*

(Rinara Woo, Jungjoon Kim, Dae-Wha Seo)

Abstract : Energy consumption of sensor nodes is minimized because it has limited energy generator in wireless sensor network. Electronic shelf label system is one of application fields using wireless sensor networks. Battery size of small apparatus for displaying price is restricted. Therefore its current consumption have to be minimized. Furthermore the method for minimization of peak current would be considered because life cycle of coin battery used to display or RF is vulnerable to intensity of drain current. In this paper, we analyze current consumption pattern of low-power electronic shelf label system. Then we propose the method for minimization of current consumption by modification of software and hardware. Current consumption of the system using proposed method are approximately 15 to 20 percent lower than existing system and the life cycle of the system is approximately 10 percent higher than existing system.

Keywords : ESL, Wireless sensor network, Coin battery, Low-power, Battery lifetime

1. 서 론

최근 무선통신 및 네트워크 기술의 발전과 더불어 이를 다양한 분야에 적용하여 유비쿼터스 시대에 발맞추어 나아가려는 움직임들이 나타나고 있다. 대형매장이나 하이엔드급의 중대형 매장에서는 가격표 수작업 교체로 인한 시간 및 비용 발생의 문제와 가격표와 점포판매시스템(POS : Point of sales system)간 가격 불일치 등 매장관리의 어려움 등의 문제를 호소하고 있다. 이에 전자가격 및 매장정보 표시 등을 컴퓨터로부터 변경할 수 있는 전자가격표시(ESL : Electronic Shelf Label) 시스템 도입에 대한 요구사항이 늘어나고 있는 추세이다[1]. 전자가격표시 시스템은 종이 가격표를 무선 전자가격표로 대체하며, 기존의 POS 시스템과 연동하여 중앙컴퓨터에서 데이터베이스의 가격과 상품

진열대 및 계산대 POS의 가격정보를 관리할 수 있도록 한다. 그림 1은 전자가격표시 시스템 구성도를 나타낸다.

전자가격표시시스템은 크게 전자가격표시기, 게이트웨이, 서버의 3가지 장치로 구성된다. 전자가격표시기는 상품 정보와 가격을 표시하며, 2인치의 소형 디스플레이부터 6인치의 대형 디스플레이까지 용도에 따라 선택가능하다. 게이트웨이는 전자가격표시기와 서버 사이에서 데이터 전달을 담당한다. 마지막으로 서버는 전자가격표시기의 관리와 정보 변경 등의 역할을 수행한다. 전자가격 표시시스템은 무선센서네트워크 기반의 응용시스템으로, 제한된 자원, 전력소모, 가격, 수명 등의 문제를 가진다. 따라서 이와 같은 제약 사항을 극복하기 위해, 무선통신 모듈의 선정과 효율적인 프로토콜 설계가 필요하다.

전자가격표시기는 단가 및 편의성 문제로 작고 높은 효율의 코인배터리를 주로 사용한다. 그러나 대부분의 무선센서노드와 마찬가지로 전자가격표시기 역시 이미지 수신을 위하여 높은 전력을 필요로 하며, 이는 코인 배터리의 수명에 큰 영향을 준다 [2, 3]. 따라서 전자가격표시기의 동작에 따른 소모

*Corresponding Author(dwseo@ee.knu.ac.kr)

Received: 8 Nov. 2013, Revised: 8 Dec. 2013,

Accepted: 30 Dec. 2013.

R. Woo: CEST

J. Kim, D. Seo: Kyungpook National University



그림 1. ESL 시스템 구성도
Fig. 1 System diagram of ESL

전력을 측정 한 후, 배터리에 미치는 영향을 최소화 하기 위한 방안 마련이 필요하다.

무선센서네트워크에서는 기존의 네트워크와 달리 제한된 배터리 에너지를 이용하여 노드들이 구동되기 때문에 무선 노드들의 전력 소모를 줄여 운용시간을 늘이고자하는 연구가 오랜 기간 진행되어 왔다. 에너지 효율을 높이기 위한 연구의 대부분은 네트워크 관점에서 연구되어 왔으며, wakeup/sleep 스케줄링이나 MAC 프로토콜에 관하여 많은 연구들이 진행되어왔다. 저전력 무선 센서 네트워크의 개발을 위하여 다 방면의 연구가 진행되고 있지만, 센서노드와 다른 하드웨어 특성을 가지는 전자가격표시기에 대한 연구는 잘 이루어지지 않고 있다. 특히 실제 시스템에 적용하여 배터리의 효율을 높이는 연구와 H/W 성능개선에 관한 연구는 미비한 실정이다. 본 논문에서는 코인배터리를 사용하는 상용 전자가격표시시스템의 소모전력을 분석하고 코인배터리의 효율을 높이기 위한 H/W 성능 개선 방안 및 다양한 관점에서의 성능 개선 방안을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 서론에 이어 II장에서는 무선센서네트워크에서 소모전력 감소를 위한 스케줄링 및 MAC 프로토콜에 관한 기존 연구에 대하여 설명한다. III장에서는 전자가격표시시스템의 시나리오 적용 시 전자가격표시기의 소모전력을 분석한다. IV장에서는 소모전력을 감소시키기 위한 방안들을 제안한다. V장에서는 IV장에서 제안한 방안들을 적용하여 기존 소모전력과 비교 분석한 후, VI장에서 결론을 내린다.

II. 관련연구

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이기 위한 방안은 지속적으로 연구되어오고 있다[4]. 무

선 센서 네트워크에서 센서노드의 실제 소모전력 분석에 관한 연구와 소모전력을 최소화 하는 다양한 방안들이 연구되고 있다 [5, 6]. 에너지 효율을 높이는 방법에 대한 연구의 대부분은 네트워크 관점에서 에너지 효율적인 프로토콜 설계 방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다 [7-10].

[9]에서는 모든 센서 노드들이 대기 상태동안의 전력 소비를 줄이기 위하여 주기적으로 wakeup/sleep을 하는 SMAC 이라는 센서 MAC 프로토콜이 제안되었다. SMAC에서는 이웃 노드와 통신을 하기 위하여 각 노드는 이웃 노드와 서로 스케줄을 교환하여 동기화한다.

[10]에서는 DMAC이 제안되었다. DMAC은 데이터 수집 트리를 이용하여 높은 에너지 효율성과 낮은 전송지연을 제공한다. 모든 노드는 네트워크 경로 설정을 위하여 데이터 수집 트리를 구성한다. 네트워크를 구성하는 초기에 경로 설정을 위한 데이터 수집 트리를 구성한다. 송신슬롯과 수신슬롯으로 나누어 스케줄링을 하며, 수신 슬롯에서는 자식 노드로부터 데이터를 전송받고 송신 슬롯에서는 부모 노드로 데이터를 전송한다.

무선센서네트워크에서 노드의 동작시간을 늘이기 위하여 RF통신 등의 주된 동작이 필요 없을 경우 sleep모드를 활용하여 소모전력을 감소시킬 수 있다. 가격표시시스템에서는 데이터를 패킷단위로 여러 번 송신하는 경우가 있다. 이 때, 패킷을 송신하는 명령을 CPU에서 RF모듈로 넘긴 후, 다음 패킷을 송신하기까지 CPU는 sleep모드에 들어가며 전력 소비를 절약할 수 있다. 또한, 저전력 프로토콜을 설계하여 소모전력을 감소시킬 수 있다. 효과적인 프로토콜 설계 시 소모전력을 가장 많이 낮출 수 있는 방법이지만, 시스템과 시나리오마다 다양한 설계방법이 있을 수 있으므로 많은 연구가 필요하다.

III. 전자가격표시기의 전력 소비량

본 장에서는 기존 전자가격표시기의 전력 소비량을 분석하고 어떤 문제점이 있는지를 분석한다. 그림 1에서와 같이 전자가격표시기는 서버로부터 디스플레이를 위한 이미지를 수신 받는다. 디스플레이의 크기에 따라 이미지의 크기가 달라지며, 통신 성능 및 신뢰도에 영향을 미치기 때문에 적절한 시스템 설계가 중요하다. 본 실험에서는 172x72 사이즈의 디스플레이, 이미지 송수신을 위한 RF 모듈을

표 1. 실험 파라미터
Table 1. Parameters

파라미터	값
Tx 파워	7 dBm
Tx / Rx 시간	10 ms / 200 ms
디스플레이 시간	6 s
디스플레이 크기	172 x 72 pixels
이미지 데이터 크기	1548 Bytes

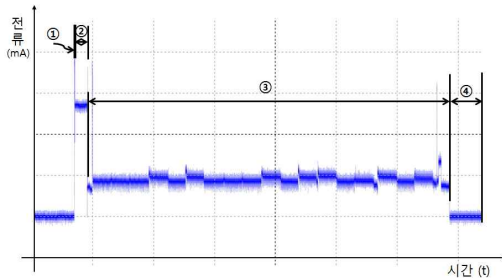


그림 2. 전자가격표시기의 소모전류 그래프
Fig. 2 Current consumption graph of apparatus for displaying price

장착하여 제작한 소형 전자가격표시기를 사용한다. 실험 시 사용한 파라미터 값은 표 1에 나타내었다.

그림 2는 시나리오가 적용된 전자가격표시시스템이 동작할 때, 전자가격표시기에서 소모되는 전류를 전류측정계로 측정한 그래프이다. ①번은 게이트웨이로 이미지 데이터를 보내달라고 요청하는 Tx구간으로 약 32 mA의 전류를 소모한다. ②번은 게이트웨이로 부터 오는 이미지 데이터를 수신하는 Rx구간으로 200 ms 동안 평균 약 24 mA의 전류를 소모한다. ③번은 수신된 데이터를 디스플레이장치로 출력하는 구간으로 172 x 72 사이즈의 이미지를 디스플레이 하는데 약 6초의 시간이 소요되며, 약 10 mA의 전류를 소모한다. ④번은 동작시간의 대부분을 차지하는 sleep 구간으로 1 μA 미만의 전류를 소모한다. 각 부분에서 소모되는 전류는 사용하는 MCU의 성능에 따라 결정되며, 동작시간의 대부분을 차지하는 sleep 구간에서 소모되는 1 μA 미만의 전류는 실시간 클록(RTC : Real Time Clock)을 동작시키기 위하여 소모되는 전류이다.

① ~ ③번의 구간에서 최소 10 mA 이상의 전류를 소모하는데, 이는 코인배터리에 큰 데미지를 줄 수 있다. 특히 ①번 Tx 구간은 출력을 위한 전류소모로 인하여 높은 전류 값을 보이며, ③번 디스플레이

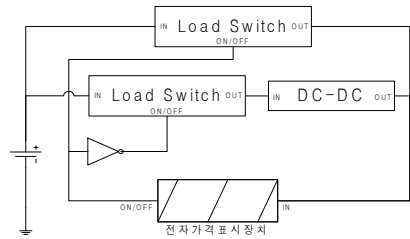


그림 3. 저전압 구동 회로 블록도
Fig. 3 Block diagram of low voltage driving circuit

이 구간의 처음과 끝부분은 패널의 특성으로 인하여 전류 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 전류 피크는 코인배터리에 큰 데미지를 주며, 코인배터리 수명에 영향을 주어 전자가격표시기의 동작시간을 감소시킨다.

IV. 전자가격표시기 소모전력 최소화 방안

1. 저전압 구동

시스템의 성능을 유지하면서 시스템의 동작범위 내에서 최대한 낮은 전압으로 시스템을 구동할 수 있으며, 이는 피크 및 평균 소모전류를 줄이는데 아주 효과적이다. 배터리 구동의 임베디드 시스템에서는 최소한의 소모전력을 가지고 최대의 시간으로 동작하도록 하기 위하여 최대한 낮은 전압으로 효율적인 성능을 나타내도록 설계하는 것이 중요하다. 저전압 구동을 위한 회로를 추가한 전자가격표시기의 블록도를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서와 같이 저전압 구동을 위하여 로드 스위치와 DC-DC로 구성된 회로를 사용한다. 전자가격표시기의 디스플레이에 사용되는 패널의 최저구동전압은 2.1V 이기 때문에, 출력전압이 2.1V인 DC-DC를 사용한다. 전자가격표시기가 RF 사용, 디스플레이 사용 등의 일반적인 상태일 때는 DC-DC를 통과한 낮은 전압으로 구동한다. 그러나 sleep 모드로 동작할 때는 수 μA의 낮은 전류가 흐르는데 이때, 이 저전압 구동회로 때문에 오히려 더 많은 전류가 흐르게 된다. 따라서 sleep 모드로 동작할 때는 기존 전압을 사용할 수 있도록 바이패스회로를 둔다.

2. 커패시터 회로 사용

코인배터리에서 순간적으로 과도한 전류가 출력되지 않도록 전자가격표시기에 커패시터를 사용

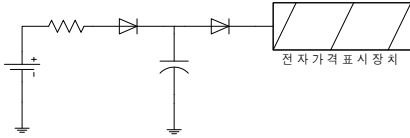


그림 4. 커패시터 회로 블록도

Fig. 4 Block diagram of circuit with capacitor

한다. 높은 전류가 흐르는 동안 커패시터가 주 전원공급원이 되도록 하여 배터리에 높은 전류를 출력함으로써 생기는 데미지를 줄인다. 낮은 전류가 흐르는 동안은 배터리가 전원공급원이 되며 동시에 커패시터를 충전한다. 배터리와 커패시터를 장착한 전자가격표시기의 블록도를 그림 4에 나타내었다.

V. 실험결과

본 장에서는 III장에서 제안한 소모전력 최소화 방안을 적용할 때 감소하는 소모전력을 측정하여 기존 소모전력값과 비교한다.

표 2은 그림 3의 블록도와 같이 전자가격표시기에 저전압 구동장치를 추가하여 소모전력을 측정한다. 저전압 구동 시 배터리의 전압에 따라서 소모전류가 차이난다. 배터리의 전압이 높을수록 구동 시 소모전류가 낮으며, 배터리의 전압이 저전압회로의 출력전압과 같아지면 출력 전류는 기존과 같아진다[11]. 실험 시 정전압 입력을 위하여 파워서플라이를 사용하였으며, 공급전압은 3V로 설정하였다. 표 2과 같이 저전압 구동 시 소모전력은 최대 약 16% 정도가 되는 것을 확인 할 수 있다.

표 3는 그림 4의 블록도와 같이 전자가격표시기에 커패시터를 장착했을 때의 소모전력을 기존 소모전력과 비교한 표이다. 커패시터를 장착하면 배터리로부터 급격히 출력되는 전류의 양이 적어지기 때문에 소모전류가 높은 RF 사용 시 소모전력이 약 22% 정도 감소하고, 디스플레이 시 그보다 낮은 약 10% 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다. RF 사용 시간이 디스플레이 시간에 비하여 아주 짧은 시간이므로 전체 효율은 약 10% 정도 좋아진다. 소모전류 수치 외에 커패시터를 장착 시 배터리에 데미지를 적게 입히므로 그로 인하여 배터리의 수명이 늘어난다.

III장에서 제안한 소모전력 최소화 방안을 일괄 적용하여 소모전력을 측정하여 기존 소모전력 그래

표 2. 저전압 구동 시 소모전력 효율 비교
Table 2. Current consumption efficiency of low voltage driving circuit

	RF	Display	전체
기존 소모전류 (mA)	25.874	8.854	9.432
저전압 구동 시 소모전류 (mA)	21.578	7.508	7.941
효율(%)	16.6	15.2	15.8

표 3. 커패시터 장착 시 소모전력 효율 비교
Table 3. Current consumption efficiency of circuit with capacitor

	RF	Display	전체
기존 소모전류 (mA)	25.874	8.854	9.432
커패시터 장착 시 소모전류 (mA)	20.023	7.928	8.431
효율(%)	22.6	10.5	10.6

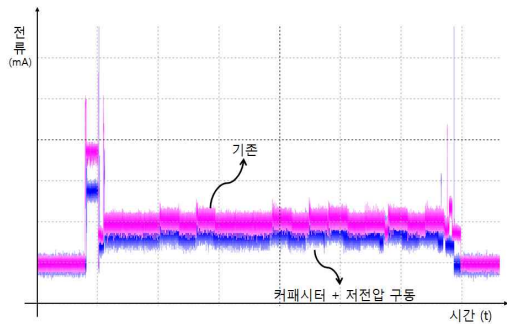


그림 5. 전자가격표시기의 소모전류 그래프
Fig. 5 Current consumption graph of apparatus for displaying price

프와 비교한 그래프를 그림 5에 나타내었다. 높게 형성된 그래프가 기존방식으로 사용할 때의 소모전류 그래프이며, 낮게 형성된 그래프가 제안한 방식으로 사용할 때의 소모전류 그래프이다. 전체적으로 기존방식의 소모전력 그래프와 제안한 방식의 소모전력 그래프가 차이나는 것을 확인할 수 있다. RF 송수신 부분은 확연한 차이를 보이며, 긴 시간의 디스플레이 구간 역시 소모전류가 차이나는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 제안한 소모전력 최소화 방안을 전자가격표시기에 적용하였을 때, 실제 시스템에서 배터리 수명에 어느 정도 영향을 미치는 지 알아보기

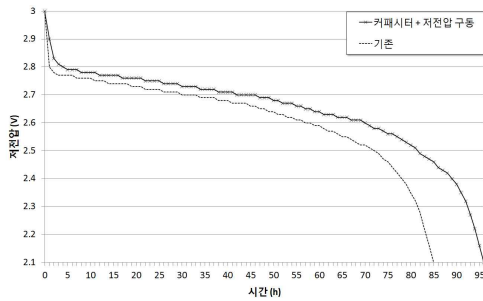


그림 6. 전자가격표시기의 동작시간 그래프
 Fig. 6 Operating time graph of apparatus for displaying price

위하여 전자가격표시기의 전압을 실시간으로 측정 한 그래프이다. 실제 시스템에서는 전자가격표시기의 이미지 디스플레이를 하루에 10번 이하로 실행 하며, 그림 2와 동일한 패턴을 가지는 방식으로 정상동작 시 전자가격표시기의 배터리 수명은 이론상 수년이 된다. 실험시간의 단축을 위하여 그림 2와 동일한 패턴을 반복 실행하는 방식으로 제안한 소모전력 최소화 방안을 적용하였을 때, 기존 방식과 배터리의 수명 차이를 비교하였다.

그림 6의 그래프를 보면 처음에 배터리 전압이 급격히 낮아지고 약 2.8 V에서 안정화 되어 이후 완만하게 낮아진다. 약 2.6 V가 되면 점차 전압이 낮아지는 속도가 빨라지면서 이후 디스플레이 패널의 최저구동전압인 2.1 V 이하로 낮아진다. 기존 방식의 배터리 전압이 제안하는 방식의 배터리 전압보다 먼저 2.1 V 이하로 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 전력소모가 많은 RF 송수신과 디스플레이를 사용하는 전자가격표시시스템의 전자가격표시 기에서 코인 배터리를 사용할 때의 전력소모패턴을 분석하고 전력소모를 최소화하기 위한 방안을 제안하였다. 피크전류 및 기본 소모 전류를 줄이기 위함과 동시에 큰 전류를 순간적으로 소모 시 발생하는 코인 배터리의 데미지를 줄이기 위하여 커패시터와 저전압 구동방식을 제안하였다. 기존 방식과 제안하는 방식의 소모전력을 비교 실험한 결과, 실험 조건과 구간에 따라 차이가 있으며 기존 대비 약 15 ~ 20%의 효율을 가진다. 배터리의 수명시간은 기존대비 약 10% 정도 늘어나는 것을 확인할 수 있다.

References

- [1] J. Yu, "Proposal of Electronic Shelf Label System for Smart Shopping," Journal of the Korea society of computer and information, Vol. 19, No. 2, pp.25-29, 2011 (in Korean).
- [2] P. Mars, D. McIntosh, "Using a Super-capacitor to Power Wireless Nodes from a Low Power Source such as a 3V Button Battery," Proceedings of IEEE ITNG, pp.69-78, 2009.
- [3] NORDIC semiconductor and Energizer, "High pulse drain impact on CR2032 coin cell battery capacity," Technical document.
- [4] M. Kang, T. Kim, B. Choi, and H. Kim, "Design of Low Power Processor based Sensor Node Hardware for Applications of Hydroponics," Journal of IEMEK, Vol. 3, No. 1, pp.34-41, 2008 (in Korean).
- [5] H. Kim, C. Kim, and H. Shin, "Battery Lifetime Estimation Considering Various Power Profiles in Wireless Sensor Node," Journal of IEEK, Vol. 46, No. 12, pp.43-49, 2009 (in Korean).
- [6] Y. Yoo, J. Choi, N. Kim, "Power Consumption Analysis of Sensor Node According to Beacon Signal Interval in IEEE 802.15.4 Wireless Star Network," Journal of KICS, Vol. 31, No. 9B, pp.811-820, 2006 (in Korean).
- [7] J. Cho, T. Kwon, Y. Choi, "A Joint Wakeup Scheduling and MAC Protocol for Energy Efficient Data Forwarding in Wireless Sensor Networks," Journal of KICS, Vol. 33, No. 4, pp.207-214, 2008 (in Korean).
- [8] M. Jeong, S. Ahn, J. Lee, "Performance improvement and implementation of low-power MAC protocol on wireless sensor network," Proceedings of The Fall Conference of KIECS, Vol. 3, No. 2, pp.206-210, 2009 (in Korean).
- [9] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," Proceedings of INFOCOM, 2002.

[10] G. Lu, B. Krishnamachari. C. Raghavendra, "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," Proceedings of IPDPS 2004.

[11] Texas instruments Inc., Current Savings in CC254x Using the TPS62730, Application Note AN097, Feb. 2012.

저 자 소 개

우리 나라



2009년 경북대학교 전자 전기컴퓨터학부 학사.
 2011년 경북대학교 전자 전기컴퓨터학부 석사.
 2013년 경북대학교 전자 전기컴퓨터학부 박사 수료.

2013년~현재, 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 연구원.

관심분야: 임베디드 시스템, 무선센서 네트워크.

Email: skymin16@hotmail.com

김 정 준



1981년 경북대학교 전자 공학과 학사.
 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사.
 1997년 Louisiana State Univ., 전기 및 컴퓨터공학과 박사.

1984년~2012년 (주)케이티.

2012년~현재, 경북대학교 전자공학부 교수.

관심분야: 임베디드 시스템, 무선센서 네트워크.

Email: jungkim7@ee.knu.ac.kr

서 대 화



1981년 경북대학교 전자 공학과 학사

1983년 한국과학기술원 전산학과 석사.

1993년 한국과학기술원 전산학과 박사.

1983년~1995년 한국전자통신연구원.

2004년~현재, 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 센터장.

1995년~현재, 경북대학교 IT학부 전자공학부 교수.

관심분야: 임베디드 시스템, 운영체제, 무선센서 네트워크.

Email: dwseo@ee.knu.ac.kr