논문 2015-10-12

센서 기반 사용자 상태 인식 알고리즘을 이용한 저전력 서비스에 관한 연구

(Study on the Low Power Service with User State Recognition Algorithm Using Sensors)

이 도 경, 홍 원 기*, 차 경 애
(Do-Kyeong Lee, Won-Kee Hong, Kyung-Ae Cha)

Abstract : The electric power consumed by the embedded devices has become a critical issue because the reduction of power consumption is an important factor to prolong the battery-operated devices' lifetime. Many researches and techniques to reduce the power consumption have been proposed and developed but any power method cannot guarantee optimal power consumption of an embedded device - it would be faced with numerous situation - in all ways. Specifically, power researches for embedded devices deployed in the industry field have hardly been done. In this paper, low power service is proposed to minimize power reduction with the several usage status of embedded devices in the industry field. The usage status is basically classified according to the distance between the device and the user which is obtained by the ultrasonic and PIR sensor. The performance evaluation shows that the proposed scheme can reduce the power consumption by up to 45.3% compared to the device with no power reduction scheme. It also shows that the power consumption of the proposed scheme is 5.2% ~ 16.8% lower than that of the timeout scheme.

Keywords : Industrial embedded system, Low power consumption, Ultrasonic sensor, PIR sensor, User presence detection, Performance evaluation

Ⅰ. 서론

임베디드 기기가 고성능화되고 모터, 센서, 디스플레이와 같은 다양한 외부 장치들을 장착함으로써 의료, 군사, 교육, 쇼핑 등 다양한 환경에서 사용되고 있다[1]. 그로 인해 임베디드 기기는 수많은 기능을 수행해야하고 지속적으로 소비전력이 증가하고 있다. 또한 임베디드 기기의 시장규모 중 배터리로 동작하는 휴대형 기기 비중이 그림 1과 같이 지속적으로 증가하면서 소비전력량은 중요한 이슈로

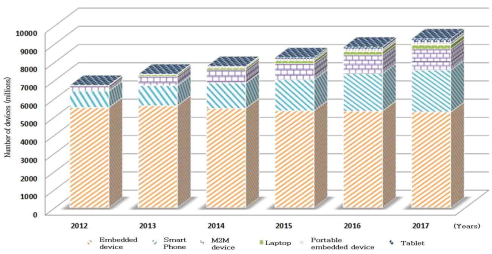

그림 1. 임베디드 기기의 시장규모
Fig. 1 Market scale of embedded devices

떠올랐다[2]. 소비전력은 기기의 동작시간과 수명에 직결되기 때문에 최근 소비전력을 줄이기 위한 저전력 서비스 연구가 활발히 진행되고 있다[3].

저전력 서비스 연구는 크게 하드웨어기반, 운영체제기반, 응용소프트웨어기반으로 나눌 수 있다. 하드웨어기반의 경우 소비전력이 낮은 부품을 사용하고 제조공정을 세밀하게 하거나 회로를 추가하여

*Corresponding Author(wkhong@daegu.ac.kr)
Received: 4 Feb. 2015, Revised: 20 Mar. 2015, Accepted: 2 Apr. 2015.
D.K. Lee, W.K. Hong, K.A. Cha: Daegu University
※ 본 논문은 2013년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013H1B8A2028405).
ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2015 Apr. 10(2) 91-99
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2015.10.2.91

불필요한 부분에 클록 공급을 끊거나 전류를 재활용하는 등 주로 기기 설계 제작 때 적용하며 대표적으로 클럭 게이팅 기법과 전하 재활용 기법이 있다[4, 5]. 운영체제기반은 기기의 유휴시간(Idle Time)을 운영체제가 분석 및 예측하여 긴 유휴시간에 기기의 동작 속도 또는 전원 상태를 제어하는 방법으로 DPM(Dynamic Power Management) 기법과 DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling) 기법이 대표적이다[6, 7]. 마지막으로 응용소프트웨어기반은 시간이나 주변 밝기 같은 사용자 제어 요소[3, 8, 9] 또는 기기의 주변 정보를 이용하고 분석하여 기기의 전원을 제어한다[10]. 응용소프트웨어기반 저전력 서비스는 하드웨어기반 또는 운영체제기반에 비해 능동적인 서비스이다. 대표적인 기법으로 마감시간(Timeout) 기법[3], 카메라를 이용한 사용자 인식 기법[8, 10], 출력 이미지를 이용한 백라이트 조명조절 기법[9] 등이 있다.

기존의 저전력 기법들은 수많은 특성과 사용패턴을 가진 다양한 임베디드 기기에 일괄적으로 적용하기 어려우며, 적용할 수 있더라도 소비전력 감소율이 높지 않다. 카메라를 이용한 사용자 인식 기법의 경우, 외부 장치로 카메라가 필수이며 이미지 분석을 위해 복잡한 연산을 해야 함으로 고성능 CPU가 필요하다. DPM과 DVFS는 운영체제가 반드시 필요하며 일어날 작업 예측이 필요하기 때문에 일정한 동작패턴을 가지는 기기에 특화되어 있다. 특히 산업 현장에서 사용되는 임베디드 기기의 경우, 사용자가 기기를 사용하는 시간이 짧고 기능에 필요한 최소한의 외부 장치가 부착되어 있거나 복잡한 연산이 힘든 저성능이기 때문에 기존 저전력 기법으로는 적용이 불가능 하거나 전력감소 효과가 매우 미미하다. 따라서 산업용 임베디드 기기의 소비전력을 효과적으로 줄일 수 있는 기법이 필요하다.

본 논문에서는 산업용 임베디드 기기용 저전력 서비스를 위해 인체감지 센서와 초음파 센서를 이용한 사용자 상태 인식 알고리즘과 상태에 따라 전원 상태를 달리하는 저전력 서비스를 제안한다. 인체감지 센서를 이용해 사용자 움직임 정보를 수집하고 초음파 센서를 이용한 사용자와 단말기간의 거리를 측정하여 사용자 유무 및 움직임을 판단하여 상황에 따른 다양한 저전력 상태를 제공할 수 있고 하드웨어의 전원 상태를 세분화함으로써 사용자 불편함 없이 소비전력감소가 가능하게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 소개하며, 3장에서는 센서를 이용한 사용자 인식 알고리즘 및 능동형 저전력 서비스를 제안한다. 4장에서는 실험을 통해 제안하는 저전력 서비스의 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

Ⅱ. 관련연구

1. 하드웨어기반 저전력 서비스

하드웨어기반 서비스의 대표적인 기법으로 클록 게이팅과 전하 재활용이 있다. 클록 게이팅 기법은 회로를 기능 블록 단위로 묶고 특정 기능이 필요하지 않는 경우 그 기능을 구성하고 있는 블록에 클록을 공급하지 않는 방식이다[4]. 클록을 공급하거나 끊는 회로를 추가해야 사용할 수 있다. 전하 재활용 기법의 경우 커패시터를 충·방전하는 전류 중 일부를 재활용하는 방법으로 이론상 50% 정도의 전하량을 재활용 할 수 있다[5].

2. 운영체제기반 저전력 서비스

운영체제기반 서비스는 크게 DPM 기법과 DVFS 기법으로 나뉜다. DPM 기법은 기기의 사용패턴을 분석하고 동작하지 않는 시간을 예측하여 긴 시간동안 동작하지 않으면 전원 상태를 변경하여 소모 전력을 줄이는 방식이다[7]. 다양한 하드웨어에서 사용되고 전원 상태만 변경할 뿐 동작 속도가 바뀌진 않는다. 기기 상태에 맞게 전원 상태를 적절하게 변경하면 전력소모를 많이 줄일 수 있지만 기기 상태를 예측하는 연산 과정이 복잡할 뿐만 아니라 정확한 예측이 힘들기 때문에 경우에 따라서는 전원 상태 변경에 따른 전력소모가 더 커질 수 있다. DVFS 기법은 동작 속도가 빠를수록 소비전력이 커지고 느릴수록 소비전력이 작아지는 특성을 이용하여 속도를 줄이는 대신 소비전력에서 이득을 취하는 방식이다[6]. 일반적으로 CPU에 많이 사용되며 DVFS 기법은 CPU 속도를 변경하는 CPU 드라이버 모듈, 어떤 상황에서 얼마만큼 속도를 변경할지 결정하는 관리 모듈, CPU 드라이버 모듈과 관리 모듈을 지원하는 CPU 인터페이스 모듈로 구성된다. 하지만 DVFS 기법은 CPU의 부하가 매우 크거나 매우 낮을 경우 전력 감소율이 매우 낮고 CPU만으로 감소할 수 있는 전력량이 총 전력의 1% 밖에 되지 않을 정도로 한계가 뚜렷하다.

3. 응용소프트웨어기반 저전력 서비스

응용소프트웨어기반 서비스에는 마감시간 기법[3], FaceOff 기법[10], FrontalFace 기법[8], 백라이트 조명조절 기법[9]이 대표적이다. 마감시간 기법은 실시간으로 단말기 내부에서 사용자 입력을 모니터링하고 미리 정해진 시간동안 입력이 없으면 제어대상을 끄고 입력이 발생하면 켜는 방식으로 간편하게 구현하고 쉽게 적용할 수 있어서 널리 사용되고 있다. 그러나 설정된 시간과 사용자 패턴이 맞지 않으면 소비전력을 줄이는데 높은 효율을 기대하기 어렵고 경우에 따라 사용자의 불편함을 초래한다. FaceOff 기법은 사용자 상태를 미리 정의하고 카메라로 찍은 이미지를 분석하여 사용자 상태에 따라 디스플레이의 전원 상태를 변경하는 방식이다. 얼굴 검출 알고리즘을 이용하여 사용자 유무를 판단하고 사용자가 단말기 앞에 있으면 디스플레이가 켜지고 단말기 앞에 없으면 꺼진다. 사용자가 단말기 앞에 있지만 사용하지 않을 경우에도 디스플레이가 켜지는 단점이 존재한다. Frontal Face 기법은 카메라를 이용하여 사용자 상태를 분석하고 전력을 제어하는 점이 FaceOff 기법과 유사하지만 정면 얼굴 검출 알고리즘을 적용시켜 FaceOff 기법이 가지는 단점을 개선하였다. 또한 FaceOff 기법에 비해 평균 4% 정도의 에너지를 더 절약하였다. 백라이트 조명조절기법은 디스플레이에 출력할 이미지에서 관심 정보를 추출 및 분석하여 LCD 백라이트 밝기를 조절하면서 소비전력을 줄이는 방식이다[8]. LCD 백라이트는 디스플레이의 소비전력 중 90%를 차지하고 있어 장시간 디스플레이가 켜져 있는 기기에 매우 효과적이다. 단 백라이트 밝기를 낮추면 이미지 밝기도 떨어지기 때문에 사용자 불편함을 방지하기 위해서 감소한 밝기를 보상하는 픽셀 보상 알고리즘과 병행한다. 최근에는 사용자가 인지하는 휘도는 주변 휘도에 영향을 받는다는 점을 이용하여 조도센서를 추가하여 보다 효율적인 알고리즘이 연구되고 있다.

Ⅲ. 본 론

1. 전원제어대상

산업용 임베디드 기기에는 디스플레이, 메모리, 통신 모듈 등 다양한 하드웨어들이 부착되어 있고 이런 하드웨어들을 모두 전원제어대상으로 포함시키면 가장 좋다. 하지만 RTC와 같이 항상 동작이 필요한 하드웨어의 전원을 제어하게 되면 오히려 사용자 불편함을 가중시키기 때문에 불가능하다.

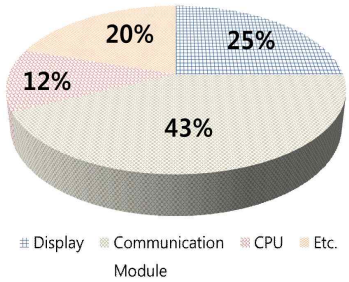

그림 2. 임베디드 기기에 포함된 하드웨어별 소비전력 비율
Fig. 2 Hardware included in embedded devices power consumption rate

그림 2는 산업용 임베디드 기기에 포함된 하드웨어별 소비전력 비율을 나타낸다. 통신 모듈 43%, 디스플레이 25%, CPU 12%로 기기 전체 소비전력량 대비 80%를 차지하기 때문에[11], 3가지하드웨어를 사용자 상태에 맞게 일괄적으로 전원제어를 하면 사용자 불편함 없이 높은 소비전력 감소율을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 산업용 임베디드 기기에 부착된 하드웨어 장치들 중에서 가장 소비전력이 큰 디스플레이, 통신모듈, CPU와 추가로 외부 센서를 포함한 4가지 하드웨어를 전원제어대상으로 정의하였다.

디스플레이, 통신모듈, 외부 센서는 사용자 상태에 따라 전원을 차단하고 공급하는 방식으로 전원제어를 한다. 디스플레이는 전력소모가 많은 장치 중 하나로서 기기 사용여부에 따라 켜고 끄는 동작만으로도 사용자 불편함 없이 많은 전력을 감소할 수 있다. 통신모듈 또한 전력소모가 많은 장치로 전원을 차단했다 공급하면 네트워크 초기화와 같은 과정을 다시 진행하면서 불필요한 전력소모가 발생할 수 있지만 네트워크 유지 시 많은 양의 소비전력을 사용하기 때문에 전력을 줄이는데 큰 영향을 미친다. 외부 센서의 경우, 전력소모가 많지 않지만 기기 사용여부에 따라 켜고 끄는 방식을 적용하면 적지 않은 전력을 줄일 수 있다. 마지막으로 CPU는 전원 차단 시 기기 동작을 하지 않는 불편함을 초래하기 때문에 다른 장치들처럼 전원을 차단하고 공급하는 형태의 전원제어는 불가능하지만 CPU에서 제공하는 저전력 상태를 이용하면 사용자 불편함 없이 소모 전력을 효과적으로 줄일 수 있다. 본 논문에서는 CPU를 비롯한 Timer, UART, 내부 메모리 등의 칩 내부에 존재하는 외부 장치의 기능이

표 1. 실제 상황과 사용자 상태의 관계
Table 1. Relationship between the real situation and the user state

	Display	Communication Module	External Sensor	CPU
Power Status	OFF	OFF	OFF	Stop Mode / Sleep Mode
	ON	ON	ON	Run Mode

표 2. 실제 상황과 사용자 상태의 관계
Table 2. Relationship between the real situation and the user state

Real Situation	User State
No user's motion in the workspace	Not_Intent
User's motion in the workspace The setting distance > Distance between user and device	Ready
The setting distance < Distance between user and device	Standby
The use of device using touch input by user	Run

모두 멈추는 Stop Mode, CPU만 멈추고 칩 내부에 존재하는 외부장치는 정상 동작하는 Sleep Mode, CPU를 비롯한 칩 내부의 모든 기능이 정상동작하는 Run Mode로 나누었다. 표 1은 제어대상의 전원 상태를 정리한 것이다.

2. 사용자 상태 정의

기기가 설치된 작업공간에서 발생할 수 있는 상황을 작업공간에 사용자의 움직임이 없는 상황, 작업공간에 사용자가 움직이고 있지만 단말기와의 거리가 설정거리보다 먼 상황, 사용자와 단말기 간의 거리가 설정거리보다 가까운 상황, 단말기를 사용하고 있는 상황으로 나누고 Not_Intent, Ready, Standby, Run 상태로 정의하였다. 표 2는 실제 발생할 수 있는 상황과 본 논문에서 정의한 사용자 상태의 매칭 관계를 나타낸 것이다.

표 3은 사용자 상태에 따른 전원제어대상 상태를 나타낸 것이다. Not_Intent는 전력을 가장 적게 사용하는 상태로 디스플레이를 비롯한 통신모듈, 외부 센서의 전원이 차단되었고 CPU 상태는 Stop Mode이다. Ready는 디스플레이, 통신모듈, 외부 센서가 동작하지 않지만 CPU 상태가 Sleep Mode로 변경되어 두 번째로 전력을 적게 사용하는 상태

표 3. 사용자 상태에 따른 전원제어대상 상태
Table 3. Power state of peripheral devices based on user state

	Display	Communication Module	External Sensor	CPU
Not_Intent	OFF	OFF	OFF	Stop Mode
Ready	OFF	OFF	OFF	Sleep Mode
Standby	OFF	ON	ON	Run Mode
Run	ON	ON	ON	Run Mode

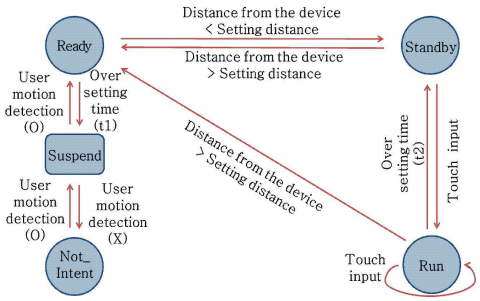

그림 3. 제안된 저전력 서비스를 위한 상태전이도
Fig. 3 State transition diagram for the proposed low power service

이다. Standby는 CPU가 Run Mode로 동작하며 디스플레이만 꺼져있고 통신모듈과 외부 센서는 켜져 있어 Ready보다 많은 전력을 소모하는 상태이다. 마지막 Run은 CPU 상태가 Run Mode이고 디스플레이, 통신모듈, 외부 센서 모두 전원 공급이 되므로 가장 전력을 많이 소모하는 상태이다.

그림 3은 사용자 상태 간의 변화 과정을 도식화한 것이다. 사용자는 Not_Intent 상태에서 시작하며 단말기와의 거리가 설정거리보다 먼 곳에서 사용자의 움직임이 감지될 때, Ready 상태로 전이하게 된다. 단말기를 사용하거나 단말기 앞을 지나가기 위해 사용자와 단말기 간의 거리가 설정거리보다 가까워지면 Ready 상태에서 Standby 상태로 바뀌게 된다.

Not_Intent 상태와 Ready 상태 사이에는 Suspend 상태가 있어 사용자 움직임을 두 번 감지한다. 이는 정말 사용자가 이동 중인지 확인하고 작은 움직임에 의해 발생하는 잘못된 상태 변화를 최소화시켜준다. 잘못된 사용자 분석으로 인한 상태변

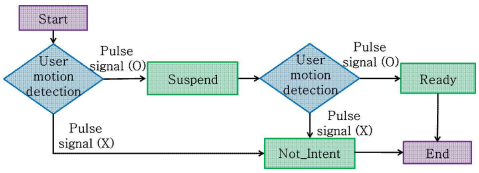

그림 4. Not_Intent 상태와 Ready 상태를 구분하는 플로차트

Fig. 4 Flowchart to distinguish between Not_Intent and Ready state

화는 단말기의 소비전력을 높이는 결과를 초래하기 때문에 Suspend 상태를 추가함으로써 잘못된 상태 변화로 인한 소비전력 낭비를 막을 수 있다.

3. 센서를 이용한 사용자 인식 알고리즘

사용자를 인식하고 상태를 구분하기 위해 인체감지 센서와 초음파 센서를 이용한다. 인체의 움직임을 감지하면 펄스 신호를 발생시키는 인체감지 센서는 단말기 위쪽 중앙에 부착되며 Not_Intent 상태와 Ready 상태를 판별한다. 인체감지 센서의 인식거리가 최대 7m, 인식각도가 140°로 단말기 기준으로 인식 사각지대 없이 모든 방향의 사용자 움직임을 인식할 수 있다. 인체감지 센서에서 펄스 신호가 출력되지 않으면 작업공간에 사용자가 없거나 사용자의 움직임이 없는 Not_Intent 상태이고 펄스 신호가 출력되면 사용자가 작업공간에서 움직이고 있는 Ready 상태이다.

인체감지 센서는 사용자가 이동할 때 발생하는 큰 움직임뿐만 아니라 제자리에서 손을 사용할 때 발생하는 미세한 움직임도 감지한다. 만약 한 번의 움직임 감지로 상태변화가 발생하면 너무 잦은 상태변화뿐만 아니라 사용자가 제자리에 서 있음에도 불구하고 움직이고 있다고 인식하는 등 사용자 상태를 정확하게 판단하지 못한다. 따라서 인체감지 센서가 사용자 움직임을 감지했을 때 설정시간 t초 내에 움직임을 추가로 감지했을 때만 상태를 변화시킴으로써 발생할 수 있는 인식 오류를 최소화하였다. 그림 4는 인체감지 센서로 Not_Intent 상태와 Ready 상태를 결정하는 플로차트이다.

초음파 센서는 단말기 아래쪽 중앙에 바닥과 수평하게 부착되며 사용자와 단말기간의 거리를 측정 후, 측정거리를 이용하여 사용자 상태가 Ready 상태인지 Standby 상태인지 구분한다. 초음파 센서는 물체와의 각도가 45°보다 작으면 센서가 반사파 수신이 불가능해져 거리측정을 못하게 된다. 초음파가

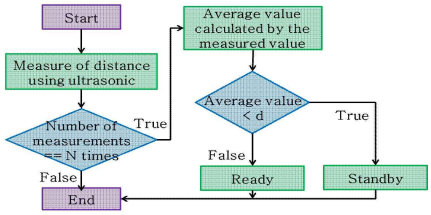

그림 5. Ready 상태와 Standby 상태를 구분하는 플로차트

Fig. 5 Flowchart to distinguish between Ready and Standby state

바닥을 향하도록 부착하면 사용자 위치에 따라 거리측정이 가능한 각도보다 작아질 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해 반드시 바닥과 수평이 되도록 부착해야한다. 측정 거리가 설정 거리보다 짧으면 Standby 상태로 판단하고 사용자가 기기 앞에 있다고 인식한다. 반대로 측정 거리가 설정 거리보다 길면 Ready 상태로 판단하고 사용자가 기기와는 멀리 떨어져 있다고 인식한다.

초음파 센서를 이용한 거리 측정은 물체와의 각도가 너무 작거나 불규칙한 표면 등의 이유로 빈번하게 오류가 발생하여 실제거리와 다른 값을 획득한다. 측정이 잘못된 값을 사용할 경우, 사용자 상태를 잘못 판단하게 되므로 평균값 필터링 기법을 적용하여 잘못 측정된 값을 제거함으로써 사용자 상태를 정확하게 판단하도록 한다. 평균값 필터링 기법은 일정 횟수 n회만큼 측정한 거리 값들을 오름차순으로 정렬 후 $d_{\max s}$와 $d_{\min s}$를 제외한 나머지 거리 값의 평균을 거리 값으로 사용하도록 필터를 설계하였으며 평균값을 구하는 식은 식 (1)과 같다.

$$D_{measure} = \frac{d_s - d_{\max s} - d_{\min s}}{n-k-h+1}, \quad (1)$$

여기서, $d_s = d_1 + d_2 + d_3 + \cdots + d_{n-2} + d_{n-1} + d_n$,

$d_{\max s} = \sum_{i=0}^{k} d_{n-i}$, $d_{\min s} = \sum_{j=1}^{l} d_j$ 이다.

그림 5는 초음파 센서로 Preparing 상태와 Standby 상태를 구분하는 플로차트이다.

Ⅳ. 실험 결과 및 분석

1. 실험 환경 및 내용

본 논문에서 제안한 저전력 기법의 실효성 평가를 위해 타겟 보드 상에서 구현 후, 실험을 통해 결과를 비교 분석한다. 그림 6은 실험에 사용된 장치

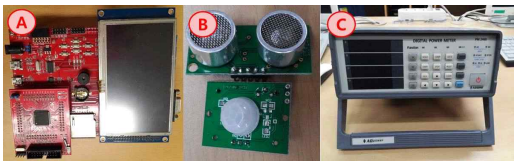

그림 6. 실험에 사용된 장치들
Fig. 6 The equipment used in the experiment
(A : Target Board, B : PIR Sensor and Ultrasonic Sensor, C : Power meter)

들이다. 타겟 보드는 Cortex M3 기반으로 4.3인치 TFT 터치 LCD, 온도 센서, CC2520 기반의 ZigBee 모듈이 장착되어있다. 사용자 인식을 위한 센서는 다이프로사의 인체감지 센서(DP-PIR8120)와 Devantech사의 초음파 센서(SRF-04)를 사용하였다. 마지막으로 타겟 보드의 소비전력을 측정하기 위해 에이디파워사의 전력측정기인 PM-2004A를 사용하였다. 설정거리의 경우, 성인남성 평균 팔 길이가 54cm, 성인여성 평균 팔 길이가 52cm인 점을 감안하여 50cm로 설정하였다. 평균값 필터링에 적용할 거리 측정 횟수를 10회로 하고, 거리 측정에 발생하는 노이즈를 줄이기 위해 10회의 초음파 센서 측정치중 최대, 최소 각 2개씩을 제외하고 평균하여 실험하였다.

실험은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫째로 센서 동작 주기에 따라 사용자 인식률과 전력 소모량이 달라진다. 사용자 인식률과 전력 소모량은 서로 길항관계(trade off)에 있기 때문에 최적화된 센서 동작 주기를 구해야 한다. 센서의 동작 주기 범위를 50ms ~ 150ms로 잡고 10ms씩 증가하며 각 주기마다 20회를 반복하여 사용자 인식 결과를 비교 분석하였다. 둘째로 제안한 저전력 기법의 성능을 평가하기 위해 다양한 상황에서 저전력 기법을 적용하지 않은 상태, 마감시간 기법을 적용한 상태 그리고 제안하는 저전력 기법을 적용한 상태의 소비전력을 비교 분석하였다. 각각의 상태가 적용된 타겟 보드에 정의된 상황을 2시간동안 수행하고 소비한 전력량을 측정하였다. 실험에 앞서 기기를 사용하면서 발생할 수 있는 행동을 4가지 상황으로 정의하고 각 행동의 횟수에 변화를 줌으로써 다양한 상황을 만들었다. 표 4는 가상의 동작 및 상황 정의를 나타낸 것이다. 상황 A는 사용자가 단말기만 사용하고 작업공간에서 사라지는 경우로 가장 단순하다. 상황 B는 단말기 사용 후, 설정거리 내에서 단말기를 사용하지 않고 다른 곳으로 움직이거나 동료와

표 4. 가상의 동작 및 상황 정의
Table 4. Definition of movement and situation

	Use of device (10초)	Other actions within setting distance (1분)	Other actions outside setting distance (3분)	Reuse of Device (5초)
Case A	○	×	×	×
Case B	○	○	×	×
Case C	○	○	○	×
Case D	○	○	○	○

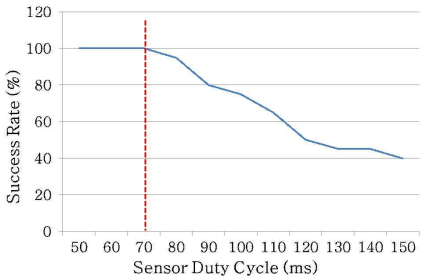

그림 7. 센서 동작 주기에 따른 사용자 인식 성공률
Fig. 7 User recognition success rate according to the sensor operating cycle

대화를 하는 등 다른 행동을 하다가 작업공간에서 없어지는 경우이다. 상황 C는 상황 B의 행동이 끝나고 바로 작업공간에서 사라지는 것이 아니라 사용자가 설정 거리 밖에서 다른 행동을 하는 경우이다. 가장 복잡한 상황 D는 상황 C에서 사용자가 다시 단말기 앞으로 다가가 사용하는 행동이 포함되었다. 우선 상황들이 행해지는 전체 횟수에 대해 10회, 20회, 30회로 구분하였으며 3가지로 구분한 상황을 다시 상황별 행해지는 횟수에 따라 4가지로 세분화하여 총 12가지 상황을 만들어 실험하였다.

2. 실험 결과

그림 7은 센서 동작 주기에 따른 사용자 인식 성공률을 보여준다. 70ms까지 사용자 인식률이 100%였지만 70ms 이후부터 인식률이 급격히 떨어지면서 150ms에는 인식률이 45%를 나타냈다. 따라서 100%의 성공률을 보인 50ms ~ 70ms 중 소비전력이 가장 적은 70m가 최적화된 센서 동작 주기로 볼 수 있다.

표 5는 다양한 저전력 기법의 사용자 상태에 따른 평균소비전력을 보여준다. CPU는 Stop Mode

표 5. 다양한 저전력 기법의 사용자 상태에 따른 평균 소비 전력
Table 5. Average power consumption based on user state of the various low power scheme

Low Power Scheme	User State	Display	CPU	Communication, External Sensor	PIR, Ultrasonic Sensor	Power Consumption (W)
No low power service	Run	ON	Run Mode	ON	X	3.01
Time based low power service	Standby	OFF	Run Mode	ON	X	2.05
	Run	ON	Run Mode	ON	X	3.01
User state recognition based low power service	Not_Intent	OFF	Stop Mode	OFF	○	1.68
	Ready	OFF	Sleep Mode	OFF	○	1.92
	Standby	OFF	Run Mode	ON	○	2.39
	Run	ON	Run Mode	ON	○	3.4

이고 디스플레이를 비롯한 통신 모듈 및 센서의 전원이 차단되는 Not_Intent 상태에는 1.68W로 가장 적은 소비전력을 보인다. CPU 상태가 Stop Mode에서 Sleep Mode로 변경되는 Ready 상태는 1.92W의 소비전력을 보여주고 CPU가 Run Mode로 동작하고 통신 모듈 및 센서에 전원 공급을 하는 Standby 상태의 소비전력은 2.39W로 Ready 상태보다 약 0.4W 증가했다. CPU가 Run Mode이고 통신 모듈 및 센서에 전원을 공급할 뿐만 아니라 디스플레이의 전원에도 공급하는 Run 상태에는 3.4W로 가장 많은 전력을 소모한다. 하지만 동일한 사용자 상태이지만 적용된 저전력 기법에 따라 소비전력 차이가 있다. Standby 상태일 때 마감시간 기법의 경우, 2.05W의 전력을 소모하고 본 논문에서 제안한 기법의 경우, 평균 소비전력이 2.39W 인 것을 확인할 수 있다. 그리고 Run 상태 또한 저전력 기법을 미적용한 상태나 마감시간 기법의 경우, 평균 소비전력이 3.01W로 동일하지만 제안된 기법의 경우 3.4W로 높은 것을 알 수 있다. 두 경우 모두 동일한 사용자 상태일 때 제안된 기법이 약 0.3W정도 소비전력이 높다. 이는 사용자 인식을 위해 사용한 인체감지 센서와 초음파 센서에 의해 발생한 것이다.

그림 8은 실험에 사용된 저전력 기법들에 대한 각 상황별 총 소비전력을 보여준다. 저전력 기법 미적용 상태의 소비전력을 기준으로 정규화 하였다. 본 논문에서 제안한 저전력 기법은 추가 센서 사용으로 추가적인 전력소모가 발생하여 기존 기법에 비해 사용자 상태에 따른 평균 소비전력량은 높지만 사용자 인식을 통해 평균 소비전력이 높은 상태의 시간을 줄여줌으로써 타겟 보드의 동작시간 기준 전체 소비전력량을 보았을 때 저전력 기법을 미적용 했을 때와 비교하여 평균 39.3%의 소비전력을 절약하였고 마감시간 기법과 비교했을 때 평균 10.4%의 소비전력 감소율을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 산업용 임베디드 기기에 최적화된 센서 기반 사용자 인식을 통한 능동형 저전력 서비스를 제안하였다. 다양한 환경에 대처하기 위해

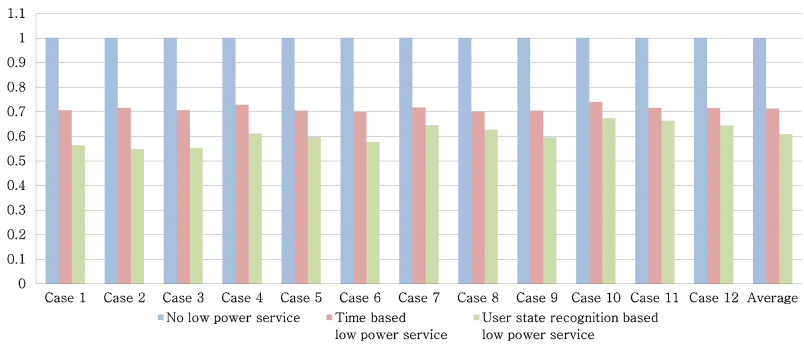

그림 8. 상황과 저전력 기법에 따른 소비전력 비교
Fig. 8 Comparison of power consumption on situation and low power scheme

기기의 주변 상황을 분석하여 사용자 상태를 정의하고 인체감지 센서와 초음파 센서를 이용한 사용자 인식을 통해 저전력 서비스를 제공하였다. 또한 센서를 이용한 사용자 인식 중 발생할 수 있는 에러를 Suspend 상태를 추가함으로써 최소화하였다. 그리고 사용자 불편함을 초래하지 않고 효과적인 전력소모 감소를 위해 사용자 상태마다 전원제어대상의 상태를 다르게 설정하였다.

제안한 저전력 서비스의 성능 평가와 실효성 검증을 위해 Cortex M3 기반의 타겟 보드를 이용하여 실험환경을 구축 및 테스트하였다. 그 결과, 저전력 기법을 미적용한 상태에 비해 28.9%, 마감시간 기법을 적용한 상태에 비해 10.7%의 전력소모를 줄일 수 있었다. 이는 센서를 이용해 사용자를 정확히 인식하였고 상황에 맞게 전원 상태를 제어함으로써 기존의 저전력 기법에 비해 소비전력 감소효율을 높일 수 있었기 때문이다.

향후 보다 정확한 사용자 상태 인지를 통해 사용자 불편함 없이 소비전력을 줄이는 기법에 관한 연구가 필요하다. 마지막으로 휴대형 임베디드 기기의 비율이 지속적으로 증가하는 만큼 휴대형에 최적화된 저전력 서비스에 대한 연구도 진행할 계획이다.

References

[1] J.-Y. Jeong, C.-H. Lee, “Design and implementation of low-power GUI for real-time operating system,” Korea Contents Association Conference, Vol. 5, No. 2, pp. 817-821, 2007 (in Korean).

[2] M.-H. Cho, C.-H. Lee, “The design and implementation of low power real-time operating system using dynamic power management,” Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol 33, No. 2(A), pp. 281-286, 2006 (in Korean).

[3] S.P. Tarzia, P.A. Dinda, R.P. Dick, G. Memik, “Display power management policies in practice,” Proceedings of International Conference on Autonomic Computing, pp. 51-60, 2010.

[4] J. Kim, J. Yi, “Case study on the high-level power modeling based on clock gating,” Proceedings of The Institute Of Electronics and Information Engineers Summer Conference, Vol. 36, No. 1, pp. 1945-1948, 2013 (in Korean).

[5] B.-D. Yang, L.-S. Kim, “A low power ROM using charge recycling and charge sharing,” Proceedings of IEEE International Conference on Solid-State Circuits, pp. 108-109, 2002.

[6] W.Y. Liang, P.T. Lai, C.W. Chiou, “An energy conservation DVFS algorithm for android operating system,” Journal of Convergence, Vol. 1, No. 1, pp. 93-100, 2010.

[7] L. Benini, A. Bogliolo, G.D. Micheli, “A survey of design techniques for system-level dynamic power management,” IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 299-316, 2000.

[8] H. Cho, O.-K. Kwon, “A backlight dimming algorithm for low power and high image quality LCD application,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, No. 2, pp. 839-844, 2009.

[9] P.-S. Tsai, C.-K. Liang, T.-H. Huang, H.H. Chen, “Image enhancement for backlight-scaled TFT-LCD displays,“ IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 19, No. 4, pp. 574-583, 2009.

[10] J.M. Kim, M. Kim, J. Kong, H.B. Jang, S.W. Chung, "Display power management that detects user intent," IEEE Computer Society, Vol. 44, No. 10, pp. 60-66, 2011.

[11] S.-J. Park, “A Study on Low Power Display Using Ambient Sensor,” Master’s thesis, Graduate School of Ajou University, 2013 (in Korean).

Do-Kyeong Lee (이 도 경)

He received the M.E. degree in Information and Communication Engineering from Daegu University, Gyeongsan, Republic of Korea, in 2015. His research interests include embedded system and low power service.

Email: bm921027@gmail.com

Won-Kee Hong (홍 원 기)

He received the Ph.D. degree in Computer Science from Yonsei University, Seoul, Republic of Korea, in 2001. From September 2001 to October 2002, he was a Post Doc. in UC Irvine. In February 2004, he joined Daegu University, Gyeongsan, Republic of Korea, where he is currently a Professor. His research interests include embedded system, ubiquitous computing and wearable computing.

Email: wkhong@daegu.ac.kr

Kyung-Ae Cha (차 경 애)

She received the Ph.D. degree in Computer Science from Kyungpook University, Daegu, Republic of Korea, in 2003. From March 2004 to February 2005, she was a Research Professor in Information and Communication University. In March 2005, she joined Daegu University, Gyeongsan, Republic of Korea, where he is currently an Associate Professor. Her research interests include multimedia processing, mobile application and multimedia authoring.

Email: chaka@daegu.ac.kr