

가정용 전력 모니터링 시스템 및 장치식별 알고리즘 개발

Development of Home Electrical Power Monitoring System and Device Identification Algorithm

박성욱 · 서진수 · 왕보현[†]

Sung-Wook Park, Jin Soo Seo and Bo-Hyeun Wang

강릉원주대학교 전자공학과

요 약

본 연구에서는 가정용 전력 모니터링 시스템을 구현하고 실험가구에 적용하여 평가하였으며, 평가과정에서 확보한 기기별 전력 사용 패턴 정보를 이용하여 자동 기기 식별 알고리즘을 개발하였다. 실험가구에 적용해본 결과, 기기별 전력사용 정보와 월별 예상 사용량 정보가 전력 소비 절감에 도움이 된다는 응답을 얻을 수 있었다. 그리고 시스템을 보다 편리하게 사용하기 위해서는 설치의 편의성과 UI를 개선해야한다는 응답을 얻었다. 본 연구에서는 UI 개선을 위하여 일반냉장고, TV, 전기밥솥, 김치냉장고, 세탁기를 자동으로 식별하는 알고리즘을 구현하였다. 자동 장치 식별 알고리즘은 전력 모니터링 과정에서 수집한 전력 소비 패턴을 관찰하여 Zero-Crossing Rate(ZC), Variation of On State(VO), Slope of On State(SO), Duty Cycle(DC) 등 4가지 특징을 규정하여 이용하였으며, 특징을 적용하는 시간 구간은 기기가 동작하는 시간이 25% 이상이 되는 2시간 길이의 구간을 이용하였다. 제안된 알고리즘은 테스트 set에 동일한 기기를 포함하는 경우 82.1%의 성능을 얻을 수 있었다.

키워드 : 장치별 전력 모니터링 시스템, 전력사용패턴, 장치식별

Abstract

This paper presents an electrical power monitoring system for home energy management and an automatic appliance-identification algorithm based on the electricity-usage patterns collected during the monitoring tests. This paper also discusses the results of the field tests of which the proposed system was voluntarily deployed at 13 homes. The proposed monitoring system periodically measures the amount of power consumption of each appliance with a pre-specified time interval and effectively displays the essential information provided by the monitored data which is required users to know in order to save power consumption. Regarding the field tests of the monitoring system, the households responded that the system was useful in saving electricity and especially the electricity-usage patterns per appliances. They also considered that the predicted amount of the monthly power consumption was effective. The proposed appliance-identification algorithm uses 4 patterns: Zero-Crossing Rate(ZC), Variation of On State(VO), Slope of On State(SO) and Duty Cycle(DC), which are applied over the 2 hour interval with 25% of it on state, and it yielded 82.1% of success rate in identifying 5 kinds of appliances: refrigerator, TV, electric rice-cooker, kimchi-refrigerator and washing machine.

Key Words : Electrical power monitoring system, Monitoring in appliance-level, Automatic appliance identification, Electricity usage pattern, saving power consumption by appliance-level monitoring

1. 서 론

전기 에너지를 안정적이고 효율적으로 사용하기 위한 노력이 Smart Grid라는 이름으로 전 세계적으로 진행되고 있다. Smart Grid란 기존 전력망에 IT기술을 접목하여 효율적으로 전력을 생산, 전송, 배분, 소비하는 시스템이라고 할 수 있는데¹⁾, Smart Grid를 성공적으로 구축하기 위해서는 전기 생산자와 에너지 정책 입안자 뿐 만 아니라 전력 소비자의 이해와 참여가 중요하다^{2,3)}. 전기 소비자의 관점에서 Smart Grid는 에너지 비용의 감소와 신재생 에너지의 사용을 의미하는 데, 특히 에너지 비용의 감소는 소비자에게 직

접적인 혜택을 줄 수 있다.

본 연구에서는 기기별 에너지 사용을 손쉽게 관찰하여 소비자의 자발적인 전력 사용 절감을 유도하는 가정용 전력 모니터링 시스템을 구현하고 실험 가구에 적용하여 평가하였다. 또한, 평가과정에서 확보한 기기별 전력 사용 패턴 정보를 이용하여 자동 기기 식별 알고리즘을 개발하였다.

미국의 EPRI (Electric Power Research Institute)에서는 기기별 에너지 모니터링 시스템의 에너지 절감 효과에 대해 기존 연구들을 조사하여 그 효과를 정리하였는데[9], 그 결과에 따르면 가능한 전력 소비 패턴에 대해 상세한 정보를, 특히 실시간으로 제공하는 경우 평균 12%의 에너지 절감효과가 있다고 보고하고 있다.

실시간으로 가전기기별 전력 사용정보를 사용자에게 전달하는 모니터링 시스템을 사용하면 효과적으로 에너지를 절감할 수 있지만 이러한 시스템을 설치하고 관리하는 것은 번거롭고 기기에 대한 지식이 필요하다는 문제가 있다. 이와 같은

접수일자 : 2011년 5월 3일

완료일자 : 2011년 7월 30일

[†] 교신저자

설치 및 관리 비용을 줄이기 위한 방법으로 사람의 개입 없이 전력 신호를 분석하여 그 신호가 어떤 기기에서 발생하는 것인지를 알아내어 UI를 제공하는 기술을 생각할 수 있는데, 이와 관련한 유사 연구로서 NILM (Non-Intrusive Load Monitoring)[11]를 들 수 있다. 하지만 이 기술은 실효전력과 무효전력을 이용하여 신호를 분석하기 때문에 통상 실효전력만 측정하는 전력 모니터링 시스템이 복잡해지는 문제가 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 전력 모니터링 시스템의 구현과 실험기구들의 평가를 기술하였고, 3 장에서는 가전기기 식별 알고리즘을 제시하고 이를 실험적으로 검증하였다. 마지막으로 4장에서는 연구 내용을 고찰하고 정리하였다.

2. 전력 모니터링 시스템 구현과 평가

본 연구에서는 가정용 전력 모니터링 시스템을 구현하고 가정에 적용하여 평가하였으며, 평가과정에서 확보한 기기별 전력 사용 패턴 정보를 이용하여 자동 기기 식별 알고리즘을 개발하였다. 본 장에서는 구현된 모니터링 시스템을 소개하고 가정에 적용한 결과에 대해서 고찰한다.

2.1 전력 모니터링 시스템 구현⁸⁾

전력 모니터링 시스템은 그림 1과 같이 복수개의 센서노드, 하나의 싱크노드, 그리고 노트 PC로 구현하였다. 센서노드는 가전기기의 전력 케이블마다 하나씩 연결되어 전력 사용량을 주기적으로 측정하고 이를 무선 통신 수단을 이용하여 싱크노드로 전송한다. 싱크노드는 센서노드에서 수신한 정보를 USB인터페이스를 통하여 정보수집용 서버인 노트 PC로 전달하는 역할을 한다. 노트 PC는 측정된 전력 소비 정보를 저장할 뿐만 아니라 사용자에게 소비되는 전력의 양상 등을 그래프로 사람들에게 보여주는 역할을 한다.



그림 1. 전력 모니터링 시스템 구성 (좌측: 기기의 전원 케이블과 연결할 수 있고 무선통신이 가능한 센서노드; 중앙: 센서노드로부터 신호를 수신하여 서버로 전달하는 싱크노드; 우측: 서버역할을 하는 노트 PC)

Fig. 1 Configuration of Electricity Monitoring System (Left: Sensor node which is connected to power cable of a device and equipped with wireless communication function; Center: Sink node which receives sensed data and forwards them to a server via USB connection; Right: Note PC works as a server)

센서노드는 최대 1초 마다 데이터를 측정할 수 있는 능력을 가지고 있으며, 본 연구에서는 30초 마다 전력 소비 정보를 측정하도록 설정하였다. 전력 측정 주기는 스마트 미터가 통상적으로 매 60분마다 한 번씩 전력 소비 정보를 측정하는 것⁴⁾과 비교하면 충분히 빈번하게 데이터를 수집하도록 설정한 것이다. 또한 센서노드는 전력 소비량을 측정하기 위하여 전류의 rms 값을 측정(클램프타입 분할전류 트랜듀서:JC10F5-V)하며, 기기의 전력 소비에 영향을 미치지 않기 위하여 배터리를 이용한 독자적인 전원을 가지고 있다. 가정 내 여러 장소에 위치한 가전기기를 무선으로 연결하기 위하여 900MHz 대역의 주파수를 사용하였으며, 센서노드들은 먼 곳에 있는 싱크노드에 도달하기 위해서 가까운 센서노드를 경유하도록 프로토콜을 설계하여 Atmega2560 MCU로 구동하였다. 싱크노드는 센서노드에서 무선으로 수신한 정보를 USB 연결을 통하여 노트 PC로 전달한다. 노트 PC는 그림 2와 같은 소프트웨어 구성을 가지고, 서버 및 In-Home Display 장치 역할을 수행한다.

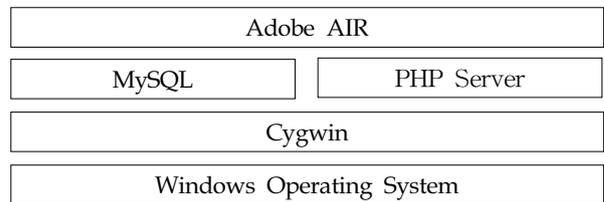


그림 2. 전력모니터링용 노트PC의 소프트웨어 구성
Fig. 2 Software stack of note PC for electricity monitoring

MySQL⁵⁾은 센서노드들로부터 입수한 전력사용정보를 데이터베이스로 보관한다. PHP⁶⁾ server는 싱크노드가 수신한 전력사용정보를 MySQL에 저장하고, 사용자 인터페이스 프로그램이 MySQL에서 저장된 정보를 읽어 낼 수 있도록 하는 역할을 한다. Adobe AIR⁷⁾는 사용자 인터페이스를 위한 프로그램을 쉽게 제작할 수 있는 API를 제공한다. 사용자 인터페이스용 프로그램은 Adobe AIR를 이용하여 사용자가 현재 전력 소비 상황을 쉽게 알 수 있도록 그래프 위주의 UI (User Interface)를 그림 3과 같이 제공하였다.

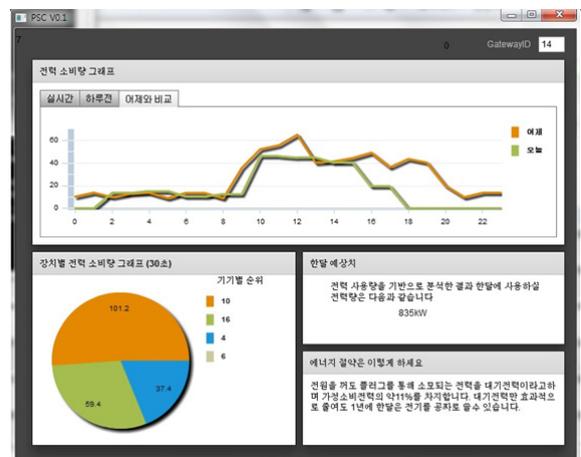


그림 3. 전력모니터링 시스템의 사용자 인터페이스
Fig. 3 User interface of electricity monitoring system

사용자 인터페이스는 상단에 관측하는 모든 기기의 전력 소비 상황을 실시간으로 선 그래프로 표시하였다. 또한 과거의 전력사용기록과 현재 사용량을 비교하여, 과거 대비 얼마나 전력을 사용하고 있는지를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 좌측 하단에는 장치별 전력 소비 순위와 비중을 표시하였다. 우측 중단에는 한 달 예상 소비 전력량을 표시하였다. 이는 월 초부터 수 일간 수집된 데이터와 과거 사용량을 기반으로 한 달 전력 소비량을 예측하여 보여준다. 우측 하단에는 에너지 절약 Tip을 표시한다.

2.2 모니터링 대상 가전기기 및 실험 가구 선정

모니터링할 대상을 결정하기 위해서 한국전력거래소 전력계획처 수요예측팀의 “가전기기보급률 및 가정용전력소비행태조사” 자료를 기반으로 보급률도 높고 전력 사용량도 많은 장치를 선정했던 기존 연구를 참고하였다⁸⁾. 본 연구에서는 보급률과 전력사용량이 많은 상위 9개 기기들 (일반냉장고, TV, 전기밥솥, 에어컨, 컴퓨터, 김치냉장고, 진공청소기, 세탁기, 그리고 헤어드라이어기) 중에서 모니터링에 참여한 실험가구의 편의를 감안하여 일반냉장고, TV, 전기밥솥, 김치냉장고, 세탁기 등 5 가지 기기의 전력 사용 정보를 수집하였다. 선정된 장치는 계절과 무관하게 한 번 설치하면 지속적으로 모니터링을 할 수 있는 고정 사용 장치로 일정한 사용패턴이 있을 것으로 예상되는 기기들이다.

모니터링은 가족과 함께 주거하는 일반적인 가정을 대상으로 수행하였다. 총 13개 실험가구의 자원을 받아 전력 소비 상태를 모니터링 하였으며, 1회 모니터링할 때 충분한 분량의 전력사용패턴을 수집하기 위해 72시간 동안 모니터링을 수행하였다.

2.3 모니터링에 대한 실험적 평가

본 연구에서는 모니터링의 효과를 평가하기 위해서 실험에 참여한 실험가구를 대상으로 설문 조사를 진행하였고 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 설문 참여자들은 현재 전기 요금이 많다고 생각하고 있으며(4-6만원 정도), 66%가 전기요금을 절약하기를 희망하는 상황이었다. 사용되었던 모니터링 시스템은 89%가 에너지 절약에 도움이 되었다는 의견을 제시하였다. 이는 에너지 모니터링 시스템이 에너지 절감을 유도한다는 다른 연구결과와도 일치한다.⁹⁾ 특히 월 사용량 예측 정보가 도움이 많이 되었으며, 전력 사용 정보의 경우 전체 전력 사용 정보를 단순히 제공해주는 것보다 기기별 사용량 정보를 제공해 주는 것이 더 유용했다는 답변을 얻었다. 이는 기기별 전력 모니터링 시스템이 가정 전체의 전력을 알 수 있는 스마트 미터기 보다 에너지 절감에 더 유용하다는 근거로 생각할 수 있다.

하지만 기기별 에너지 모니터링 시스템은 센서노드의 설치 및 센서노드번호로 표시되는 UI가 불편하다고 지적되었다. 센서 노드 설치가 불편한 이유는 실험가구별로 모니터링한 가전기기의 종류가 표시된 표 1에서 알 수 있듯이, 냉장고, 김치냉장고 그리고 세탁기와 같이 크고 무거우며 외진 곳에 전력선이 노출되지 않도록 매물 설치되는 기기들의 전원 케이블에 설치해야 하기 때문이다. 이 문제는 보다 설치가 편리한 센서노드를 개발하거나, 혹은 가정 전체의 전력사용량을 나타내는 미터기에서 각 기기별 신호를 분리하는 방법을 활용할 수 있을 것이며¹⁰⁾ 계속 연구를 통해서 해결하고자 한다.

표 1. 실험 가구별 모니터링한 가전기기의 종류
Table 1. Appliances monitored at each home

| 기기명 | 냉장고 | TV | 전기밥솥 | 김치냉장고 | 세탁기 |
|--------|-----|----|------|-------|-----|
| 실험가구 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 실험가구 2 | | 0 | 0 | | 0 |
| 실험가구 3 | | 0 | 0 | | |
| 실험가구 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 실험가구 5 | | 0 | 0 | | 0 |
| 실험가구 6 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 실험가구 7 | | 0 | 0 | 0 | |
| 실험가구 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 실험가구 9 | | 0 | 0 | 0 | |
| 실험가구10 | 0 | 0 | 0 | | |
| 실험가구11 | 0 | 0 | 0 | | |
| 실험가구12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 실험가구13 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| 전체 개수 | 7 | 13 | 13 | 6 | 6 |

센서노드번호로 표시되는 UI가 불편하다고 지적된 부분은 구체적으로 살펴보면, 각 기기의 전력 소비 정보를 구분하여 표시할 때 기기종류를 보여주지 않고 센서노드의 번호로 표시된 점에 대한 지적이 많았다. 이 문제는 사용자가 각 신호가 어떤 장치와 연결된 센서노드에서 송신된 것인지를 확인하여 수동으로 입력하는 방법으로 해결할 수 있다. 하지만 이는 모니터링 시스템 사용성을 떨어뜨려 실제 필드에 적용될 때 사용자의 외면을 받을 가능성이 많다. 이 문제를 해결하기 위해서는 자동으로 신호의 소스 기기를 알 수 있는 방법이 필요하다. 자동으로 기기를 식별하는 방법으로 쉽게 생각할 수 있는 것은 표준화된 방법으로 센서노드와 기기가 통신하여 식별자를 획득하는 방법을 들 수 있지만, 이는 표준을 따르지 않는 기존의 가전기기 대해서는 적용할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기기별 전력 모니터링 시스템의 편리한 UI를 위하여 설치된 센서노드에서 수집한 전력 사용 정보를 분석하여 자동적으로 가전기기를 식별하는 알고리즘을 개발하였다.

3. 가전기기 식별 알고리즘 개발 및 검증

3.1 가전기기 식별 알고리즘 개발

가전기기 별로 고유한 전기 사용 패턴이 있다는 가정 하에 기기 식별 알고리즘을 개발하였다. 그림 5는 개발에 사용된 가전기기의 전력 사용 정보의 일부분을 보여준다. 그림 5에 나타난 전력 사용 패턴을 관찰한 결과 크게 보았을 때 기본적으로 on과 off 상태를 교번하는 특징을 가지고 있다. 특히 기기의 종류 별로 교번의 빈도와 특히 on 상태에서 전력 신호의 변화 양상에서 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 반면 off 상태에서는 큰 변화를 발견할 수 없었다. 이를 수치화하여 센서노드에서 측정된 전력 신호로부터 아래의 네 가지 기본 특징을 도출하였다.

1. Zero-Crossing Rate (ZC): On과 Off state 가 교번하는 빈도
2. Variation of On State (VO): On state에서 신호의 변화도로 On state에서 (신호표준편차/신호평균)로 정의
3. Slope of On State (SO): On state에서 신호의 기울기.

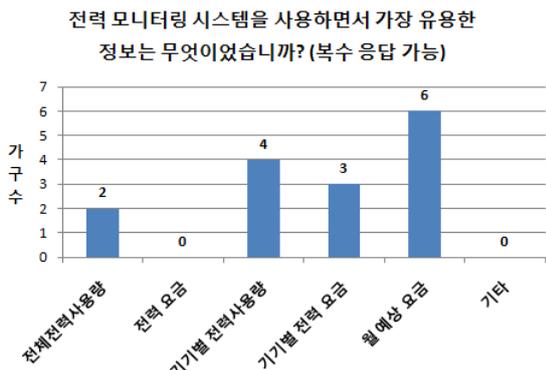
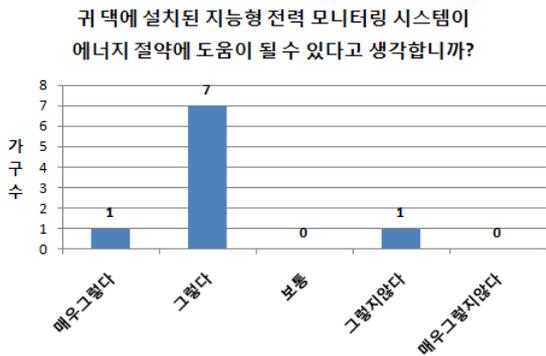
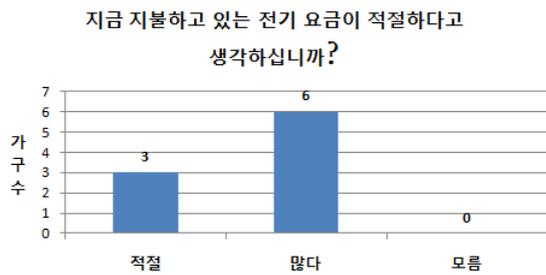


그림 4. 모니터링 시스템 사용 후, 성능 개선을 위한 설문 조사 결과 (총9가구가 설문 참여)
 Fig. 4 Replies to the questionnaire for system improvement after monitoring power-usage pattern (nine households replied)

특히 냉장고의 경우 On state에서 신호 크기가 시간이 갈수록 작아지는 경향성을 보임.

4. Duty Cycle (DC): 상대적인 on state의 길이로 (On state 구간의 길이 평균)/(off state 구간의 길이 평균)으로 정의.

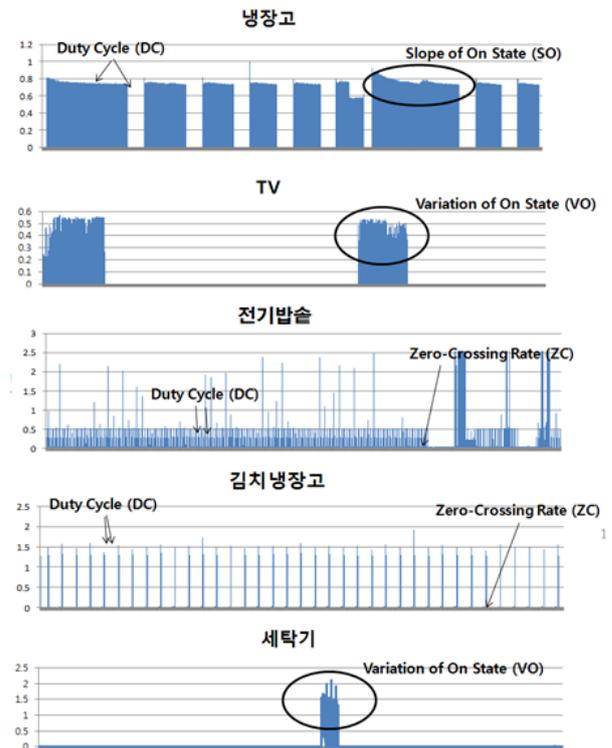


그림 5. 수집된 기기별 전력사용패턴 (위에서 차례로 일반냉장고, TV, 전기밥솥, 김치냉장고, 세탁기를 나타내며, 세로축은 전류값(A)를 나타냄)
 Fig. 5. Electric Power Usage Pattern monitored (y axis denotes current consumed in ampere for refrigerator, electric rice cooker, TV, and washing machine from the top)

네 가지 기본 특징들은 모두 전력 신호를 on과 off state로 구분한 뒤 얻어진다. 전력 신호가 시간 순서로 입력된다고 봤을 때 특정한 레벨이하로 내려가면 off state이며, 특정 레벨 이상으로 올라가면 on state라고 가정하였다. 또한 on state 이후에는 반드시 off state가, off state 이후에는 반드시 on state로만 변화한다고 가정하여 모든 입력 신호에 대하여 on/off state를 구분하였다. 그림 6은 TV 전력 신호를 기반으로 on/off state를 구분한 보기를 보여준다.

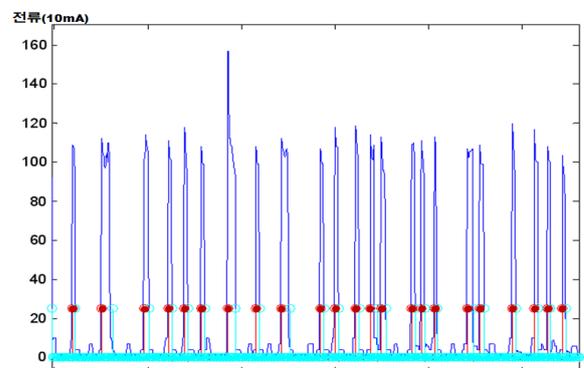


그림 6. TV 전력 신호로부터 on/off state검출 예
 Fig. 6 Marking on/off state on TV's power usage pattern

그림 7은 본 연구에서 제안한 알고리즘의 전체 흐름을 나타낸다. 본 연구에서는 입력되는 전력신호에 대하여 먼저 on/off state 구분을 수행하고, 이를 기반으로 네 가지 전력신호의 구간 특징인, ZC, VO, SO, DC를 구한다. 이 후 구간 특징들을 기반으로 분류기를 training하고 testing 하였다.

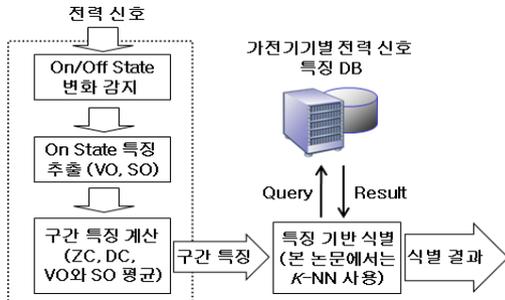


그림 7. 제안된 가전기기 식별 방법 블록선도
Fig. 7. Block diagram of the proposed device identification method

3.2 가전기기 식별 알고리즘 실험적 검증

앞 절에서 도출된 네 가지 특징들의 성능을 실제 수집된 전력 데이터에서 실험적으로 검증하였다. 제안된 식별 알고리즘이 전력 모니터링 시스템에 적용된다면 전력 데이터를 일정 시간 수집한 후, 가전기기를 식별하게 된다.

식별에 사용되는 구간의 길이를 T라 하고, 1시간, 2시간, 3시간 이렇게 세 가지 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 즉, T 시간 동안의 전력데이터로부터 제안된 네 가지 특징인 ZC, VO, SO, DC를 구하여 식별에 사용하였다. 이때 ZC와 DC는 기본적으로 구간 특징이므로 정의된 T 시간 구간에 그대로 적용하면 되고, on state의 특징인 VO와 SO의 경우는 구간 내에 여러 개의 on state가 있을 수 있으므로 구간 내의 각 on state에서 얻어진 특징들을 평균하여 그 구간의 VO와 SO 값으로 사용하였다.

식별을 위해서 T 시간 길이의 구간 데이터를 수집된 전력데이터로부터 구하고 특징을 추출함에 있어, 가전기기가 대부분 대기상태인 경우를 배제하기 위하여 T 시간 내에서 최소 25% 이상 시간 동안 on 상태를 유지한 경우만을 유효한 구간으로 판단하고 식별 실험에 활용하였다. 얻어진 구간 특징 집합들을 반반씩 나누어 training set과 testing set으로 하였다. 식별 성공 판정을 위해서 K-nearest neighbor rule을 이용하였다. 즉, testing set에 있는 각 구간 특징 데이터에 대해서 training set에 있는 구간 특징들과 Euclidean 거리를 구하였다.(Euclidean 거리를 데이터 분산으로 normalize한 Standardized Euclidean distance를 사용) 그 거리값이 가장 작은, 즉 자신과 거리가 가장 가까운 K개를 구하고 절반 이상이 같은 기기이면 식별 성공으로 판정하였다. 본 실험에서는 K의 값을 5로 하였다.

식별 실험에서 training과 testing set을 정할 때 training set에 testing set과 같은 모델의 기기(예를 들어, 같은 모델 번호의 냉장고 등)에서 나온 데이터가 있다면 식별 성공률이 높아지게 되며, 반면에 training set에 같은 모델의 기기를 제외한다면 K-nearest neighbor rule에 의한 식별 성공률은 낮아지게 된다. training set에 같은 모델의 기기를 포함한 경우의 실험 결과는 표 2, 3 4에 있으며, training set에 같은 모델의 기기를 제외한 경우의 실험 결과는 표 5, 6, 7에 있다. 자동 기기 식별 기능이 있는 모니터링 시스템이

실제 현장에 적용된다면, 두 경우가 다 가능할 수 있으므로, 식별 성공률은 표에 나온 결과의 중간 정도일 것으로 예상할 수 있다.

표 2. T=1경우 식별성공률(%); training set에 동일기기포함
Table 2. success rate(%) in classification when T=1 (the same model of appliance is in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| ZC | 38.5366 | 69.0476 | 71.9512 | 11.7021 | 0 | 0 |
| VO | 40 | 21.4286 | 43.2927 | 42.5532 | 46.6667 | 37.5000 |
| SO | 30 | 0 | 51.2195 | 20.2128 | 0 | 25.0000 |
| DC | 29.02439 | 23.80952 | 48.17073 | 19.14894 | 26.66667 | 5 |
| ZC, VO | 72.19512 | 54.7619 | 73.78049 | 78.7234 | 66.66667 | 72.5 |
| ZC, SO | 54.14634 | 30.95238 | 65.85366 | 52.12766 | 33.33333 | 52.5 |
| ZC, VO, SO | 72.92683 | 57.14286 | 70.12195 | 78.7234 | 83.33333 | 76.25 |
| ZC, VO, DC | 73.17073 | 57.14286 | 72.56098 | 78.7234 | 83.33333 | 72.5 |
| ZC, VO, SO, DC | 73.17073 | 57.14286 | 68.90244 | 75.53191 | 83.33333 | 83.75 |

표 3.T=2경우 식별성공률(%); training set에 동일기기포함
Table 3. success rate(%) in classification when T=2 (the same model of appliance is in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ZC | 46.1905 | 56.6667 | 69.4118 | 53.3333 | 10.0000 | 0 |
| VO | 40.9524 | 0 | 50.0000 | 37.1429 | 46.6667 | 40.0000 |
| SO | 42.1429 | 3.3333 | 66.4706 | 39.0476 | 0 | 25.8824 |
| DC | 40.95238 | 6.666667 | 73.52941 | 31.42857 | 40 | 0 |
| ZC, VO | 72.61905 | 43.33333 | 75.29412 | 83.80952 | 66.66667 | 65.88235 |
| ZC, SO | 56.90476 | 40 | 74.70588 | 59.04762 | 33.33333 | 32.94118 |
| ZC, VO, SO | 72.85714 | 53.33333 | 80.58824 | 73.33333 | 76.66667 | 62.35294 |
| ZC, VO, DC | 82.14286 | 80 | 81.76471 | 80 | 100 | 80 |
| ZC, VO, SO, DC | 77.85714 | 70 | 81.76471 | 72.38095 | 96.66667 | 72.94118 |

표 4. T=3경우 식별성공률(%); training set에 동일기기포함
Table 4. success rate(%) in classification when T=3 (the same model of appliance is in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ZC | 52.2843 | 83.3333 | 75.0000 | 57.2816 | 30.0000 | 0 |
| VO | 49.2386 | 0 | 57.9268 | 52.4272 | 43.3333 | 40.5063 |
| SO | 42.8934 | 0 | 67.6829 | 34.9515 | 0 | 27.8481 |
| DC | 47.96954 | 0 | 79.26829 | 46.60194 | 36.66667 | 0 |
| ZC, VO | 70.55838 | 22.22222 | 80.4878 | 72.81553 | 66.66667 | 59.49367 |
| ZC, SO | 64.72081 | 0 | 76.82927 | 70.87379 | 30 | 59.49367 |
| ZC, VO, SO | 70.05076 | 5.555556 | 84.14634 | 68.93204 | 70 | 56.96203 |
| ZC, VO, DC | 76.90355 | 38.88889 | 82.31707 | 79.61165 | 96.66667 | 63.29114 |
| ZC, VO, SO, DC | 76.64975 | 38.88889 | 85.97561 | 78.64078 | 96.66667 | 55.6962 |

표 5. T=1경우 식별성공률(%); training set에 동일기기제외
Table 5. success rate(%) in classification when T=1 (the same model of appliance is not in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|-------|---------|
| ZC | 29.7561 | 23.8095 | 68.2927 | 0 | 0 | 0 |
| VO | 27.5610 | 4.7619 | 41.4634 | 22.3404 | 0 | 27.5000 |
| SO | 20 | 4.7619 | 39.0244 | 11.7021 | 0 | 6.2500 |
| DC | 18.78049 | 2.380952 | 40.2439 | 10.6383 | 0 | 0 |
| ZC, VO | 46.34146 | 50 | 50 | 45.74468 | 0 | 55 |
| ZC, SO | 38.78049 | 16.66667 | 50.60976 | 44.68085 | 0 | 33.75 |
| ZC, VO, SO | 47.31707 | 45.2381 | 47.56098 | 48.93617 | 0 | 63.75 |
| ZC, VO, DC | 49.26829 | 42.85714 | 53.04878 | 48.93617 | 0 | 63.75 |
| ZC, VO, SO, DC | 45.60976 | 33.33333 | 45.73171 | 50 | 0 | 63.75 |

표 6. T=2경우 식별성공률(%); training set에 동일기기제외 Table 6. success rate(%) in classification when T=2 (the same model of appliance is not in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|
| ZC | 40.2381 | 0 | 67.6471 | 51.4286 | 0 | 0 |
| VO | 23.8095 | 0 | 31.1765 | 17.1429 | 0 | 34.1176 |
| SO | 28.3333 | 0 | 51.1765 | 19.0476 | 0 | 14.1176 |
| DC | 32.61905 | 3.333333 | 63.52941 | 26.66667 | 0 | 0 |
| ZC, VO | 45.95238 | 0 | 50 | 60 | 0 | 52.94118 |
| ZC, SO | 39.52381 | 0 | 52.35294 | 44.7619 | 0 | 35.29412 |
| ZC, VO, SO | 43.57143 | 0 | 48.23529 | 52.38095 | 0 | 54.11765 |
| ZC, VO, DC | 50.47619 | 6.666667 | 52.94118 | 62.85714 | 0 | 63.52941 |
| ZC, VO, SO, DC | 48.57143 | 6.666667 | 50 | 60.95238 | 0 | 62.35294 |

표 7. T=3경우 식별성공률(%); training set에 동일기기제외 Table 7. success rate(%) in classification when T=3 (the same model of appliance is not in training set)

| 특징 | 전체 | 세탁기 | 밥솥 | 냉장고 | 김치냉장고 | 텔레비전 |
|----------------|----------|-----|----------|----------|-------|----------|
| ZC | 43.1472 | 0 | 67.6829 | 57.2816 | 0 | 0 |
| VO | 33.2487 | 0 | 41.4634 | 38.8350 | 0 | 29.1139 |
| SO | 31.4721 | 0 | 57.3171 | 20.3883 | 0 | 11.3924 |
| DC | 36.80203 | 0 | 65.85366 | 35.92233 | 0 | 0 |
| ZC, VO | 44.16244 | 0 | 51.82927 | 50.48544 | 0 | 46.83544 |
| ZC, SO | 48.22335 | 0 | 61.58537 | 53.39806 | 0 | 43.03797 |
| ZC, VO, SO | 43.65482 | 0 | 53.65854 | 54.36893 | 0 | 35.44304 |
| ZC, VO, DC | 48.22335 | 0 | 49.39024 | 71.84466 | 0 | 44.3038 |
| ZC, VO, SO, DC | 43.14721 | 0 | 50 | 64.07767 | 0 | 27.8481 |

그림 1의 전력 모니터링 시스템을 13개 실험 가구에 적용하여 측정된 전력 데이터를 이용하여 실험을 수행하였으며, 제안된 4가지 특징 각각의 개별 식별 성능과 특징들을 조합하여 (같이 모아서 벡터로 만들) 차수를 높일 경우의 식별 성능을 구해서 비교하였다. 단일 특징 중에서는 ZC가 가장 좋은 분류 성능을 보였다. 두 가지 특징을 조합할 경우 ZC와 VO를 조합하는 것이 좋으며, 세 가지 특징의 경우 ZC, VO, DC의 조합이 좋은 성능을 보였다. 다른 특징들에 비해서 상대적으로 SO는 좋은 성능을 보이지 못하였다. 특징과 기기 별로 약간씩 차이는 있으나 T가 2일 때 가장 좋은 성능을 보였다. 이는 일반적인 가전기기의 사용 패턴과 연관이 있는 것으로 보인다. 즉, 24시간 사용하는 기기를 제외하고, TV, 세탁기, 밥솥 등의 가전기기가 1-3 시간 연속 사용하는 경우가 많으므로 그 중간 정도의 값인 T=2에서 좋은 성능을 보인 것 같다. training set에 같은 기기가 포함될 경우 크게 성능이 올라감을 알 수 있고 (82.1%), 같은 기기 포함 여부에 가장 큰 영향을 받은 기기는 김치냉장고로써 같은 기기가 포함되지 않은 경우 밥솥으로 오인되는 경우가 많이 있었다 (50.5%). 그림 7 에서 두 기기의 전력 패턴을 비교해보면, 전기밥솥이 보온 모드에 있을 때 상당히 조밀하게 펄스 형태를 가지고 있어 김치냉장고의 전력 사용 패턴과 유사성이 있다.

4. 고찰 및 결론

본 연구에서는 가정에서의 에너지 절감을 위한 기기별 전력 모니터링 시스템을 구현하고 그 효과를 13개의 실험 가구에 적용하여 살펴보았다. 실험가구에 적용해본 결과, 기기별 전력사용 정보와 월별 예상 사용량 정보가 전력 소비 절감에 도움이 된다는 반응을 얻을 수 있었다. 그리고 시스템

을 보다 편리하게 사용하기 위해서는 설치의 편의성과 UI를 개선해야한다는 응답을 얻었다. 본 연구에서는 UI 개선을 위하여 일반냉장고, TV, 전기밥솥, 김치냉장고, 세탁기를 자동으로 식별하는 알고리즘을 구현하였다. 자동 장치 식별 알고리즘은 전력 모니터링 과정에서 수집한 전력 소비 패턴을 관찰하여 Zero-Crossing Rate(ZC), Variation of On State(VO), Slope of On State(SO), Duty Cycle(DC) 등 4가지 특징을 규정하여 이용하였으며, 특징을 적용하는 시간 구간은 기기가 동작하는 시간이 25% 이상이 되는 2시간 길이의 구간을 이용하였다. 제안된 알고리즘은 테스트 set에 동일한 기기를 포함하는 경우 82.1%의 성능을 얻을 수 있었다.

향후 장치식별 알고리즘의 성능을 개선하여 식별 성공률을 높이고 식별하는 기기의 개수를 증가시키고 동시에 설치의 편의성을 향상 시킨다면 보다 실용성이 높은 기기별 전력 모니터링 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 전력IT사업단, “한국형 스마트그리드 비전”, 지능형 전력망사업 및 연관사업 세미나(I), 2009년8월.
- [2] Jeffrey W. Chapman, "The Economics of Advanced Metering Infrastructure (AMI) Market In the United States," 2010 World Smart Grid Forum, 2010년1월.
- [3] Jeff Lee, "AMI-Lessons learnt, It is all about the customer," 2010 World Smart Grid Forum, 2010년1월
- [4] Dan Partridge, "AMI Project Overview," 2010 World Smart Grid Forum, 2010년 1월.
- [5] ORACLE, MySQL 5.5 Reference Manual, Available: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/>
- [6] The PHP Group, PHP, Available: <http://www.php.net/>.
- [7] Adobe Systems Incorporated, Adobe AIR Documentation, Available: <http://www.adobe.com/devnet/air/documentation.html>.
- [8] 박성욱, 왕보현 외, "기기별 전력 모니터링 시스템 개발에 관한 연구", 한국지능시스템학회논문지, 제20권, 5호, pp. 638-644, 2010년10월.
- [9] B. Neenan and J. Robinson. "Residential electricity use feedback: A research synthesis and economic framework", *Technical report, Electric Power Research Institute*, 2009.
- [10] J. Zico Kolter, Siddarth Batra, Andrew Y. Ng, "Energy Disaggregation via Discriminative Sparse Coding," *Neural Information Processing Systems Conference*, Dec 06, 2010.
- [11] D. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring," *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 12, 1992.

저 자 소 개



박성욱(Sung-Wook Park)
한국지능시스템학회 논문지 제21권 제2호
p.158 참조



서진수(Jin Soo Seo)
1998년 : KAIST 전기및전자공학과 공학사
2000년 : KAIST 전자전산학과 공학석사
2005년 : KAIST 전자전산학과 공학박사
2006년~2008년 : ETRI 선임연구원
2008년~ : 강릉원주대학교 전자공학과
조교수

관심분야 : 신호처리, 멀티미디어, 패턴인식
E-mail : jsseo@gwnu.ac.kr



왕보현(Bo-Hyeun Wang)
1987년 : 연세대학교 전기공학과 공학사.
1990년 : Georgia Institute of Tech공학
석사
1991년 : Georgia Institute of Tech.공학
박사
1991년~1998년 : LG 종합기술원 책임연
구원

1998년~ : 강릉원주대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 지능시스템, 데이터마이닝, 예측시스템
E-mail : bhw@gwnu.ac.kr