

정합 필터를 이용한 가전기기 부하 분류 기법

백승준, 강준석, 윤성국
 송실대학교 전기공학부

Loads Classification Algorithm using Matched Filter

Sung-Jun Beak, Jun-Suk Kang, Sung-Guk Yoon
 Soongsil University

Abstract - 스마트그리드에서는 공급에 대한 관리뿐만 아니라 소비에 대한 관리 역시 중요하다. 소비자 참여환경을 조성하기 위해서, 사용자들은 가정 내의 기기들의 전력 사용 형태를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 정합 필터(Matched filter)를 이용하여 가전기기들의 부하패턴을 분류할 수 있는 기법을 제안하였다. 먼저 가정에서 흔히 사용하는 가전기기들에 대해 각각의 부하 패턴을 측정하고, 전체 부하 패턴에서 각각의 부하 패턴이 어떤 결과를 가져오는지 확인하였다. 이를 이용하여 정합 필터 설계하고 이를 이용해 미지의 가전기기를 분류하는 기법을 제시하였다.

1. 서 론

오늘날 세계에서는 탄소절감을 위해서 다양한 시도를 하고 있다. 우리나라의 경우 스마트그리드, 마이크로그리드, 수요반응을 통해 탄소절감과 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 특히 정부에서 '에너지프로슈머'라는 단어를 언급하며 소비자가 직접 에너지를 사고파는 방식에 관심을 가지고 있다. 수요반응은 전력 시스템에서 소비자의 전력 수요를 조정하는 기법으로 스마트그리드에서 필수적인 요소이다. 수요반응이 원활하게 이루어지기 위해서는 소비자들의 적극적인 참여가 필수적이다[1].

전력시장에서의 소비자는 비용절감이 가장 큰 목적이다. 스마트미터를 이용하여 소비자가 직접 본인의 소비패턴을 인지하여야 한다. 하지만 스마트 미터는 가정의 전체 소비 전력만을 측정할 수 있고 기기별 부하패턴을 알 수 없다. 이런 한계로 인해 소비자는 어떤 가전기기를 통해 부하 절감을 할 수 있는지 정확히 알 수 없기에 스마트 미터를 통한 비용 절감을 극대화할 수 없다.

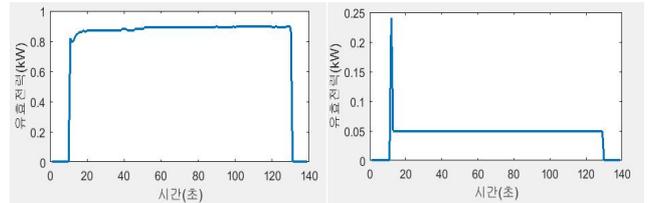
NILM(Non-Intrusive Load Monitoring)은 하나의 주 전력선에 연결된 전력계에서 얻은 전체 부하 패턴을 분석하여 그 전력선에 연결된 장치 각각의 전력 소비 패턴을 알아내는 기술이다. NILM은 1980년도 초 미국의 EPRI(Electric Power Reserch Institute)와 MIT 공대에 의해서 처음 고안되었다[2]. NILM은 설치된 측정기기를 통하여 모든 부하의 전류와 전압에 대한 분석을 하고, 이를 통해 각각의 기기에서 사용하는 전력량을 추정하여 분류한다. 이는 각각의 기기에 센서를 연결하여 측정하던 방식에 비해 설비비용의 작다는 장점을 가지고 있다. 하지만 FSM(Finite state machine) 모델로 묘사된 선풍기, 냉장고, 세탁기, 마이크로프로세서 제어기기들은 단순한 ON/OFF식 모델로 간주하여 해석하면 오류가 발생한다. 따라서 기존과는 다른 방법이 필요하다[3].

본 연구에서는 가정에서 쓰이는 가전기기들의 부하패턴 특징에 대하여 알아보고, 전체부하에서 개별 부하의 사용 여부를 파악할 수 있는 기법으로 정합 필터를 사용하는 방법을 제시한다. 먼저 무부하 상태에서 임의의 가전기기가 기동할 때 부하 패턴을 실측하여 저장하고 저장된 부하 데이터를 미지의 데이터와 합성곱을 통해 최대값을 보이는 부하를 선택함으로써 현재 부하를 추정할 수 있다. 실측 데이터를 이용한 MATLAB 모의실험을 통해 제안하는 기법의 유효성을 검증하였다.

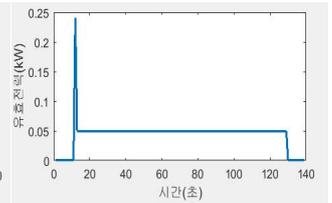
2. 본 론

2.1 부하패턴측정

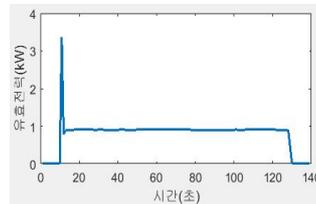
가정에서 주로 쓰이는 가전기기들도 대기전력, 기동전력 등 다양한 요소들에 인하여 부하패턴이 정해지기 때문에 서로 다른 가전기기들은 크거나 작은 차이의 부하패턴을 가지고 있다. 본 연구에서는 대표적인 저항성 부하, 유도성 부하[4]인 전열기, 선풍기 그리고 청소기를 일정시간(주기)동안 측정하여 부하별 특성을 확인하였다. 그림 1, 2, 3은 각각 전열기, 선풍기, 청소기의 부하 패턴을 도시한다. 그래프에서 x축은 시간(초)을, y축은 유효전력(kW)을 의미한다.



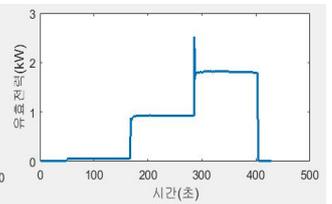
<그림 1> 전열기 부하패턴



<그림 2> 선풍기 부하패턴



<그림 3> 청소기 부하패턴



<그림 4> 전체 부하패턴

전열기는 순수 저항성 부하로 사용 시 급격히 전력이 상승하는 모습은 그림 1에서 확인할 수 있다. 이는 스위치를 ON/OFF 한 것과 같은데, 부하패턴 분석 시 ON/OFF 모델[4] 혹은 단위계단 함수를 사용할 수 있다. 그림 2에서 보여주는 선풍기의 부하패턴은 기동 시 기동 전력이 발생하고, 사용 중에는 일정한 전력량을 보이는 유도성 부하[4]의 특징이 확인된다. 그림 3의 청소기 부하패턴은 앞에 두 경우와 달리 콘센트에 연결하자마자 소량의 대기전력에 소모되었고 기동하였을 때 평소 전력의 2.5배 가량의 전력을 소모하는 일정한 부하패턴을 보였다.

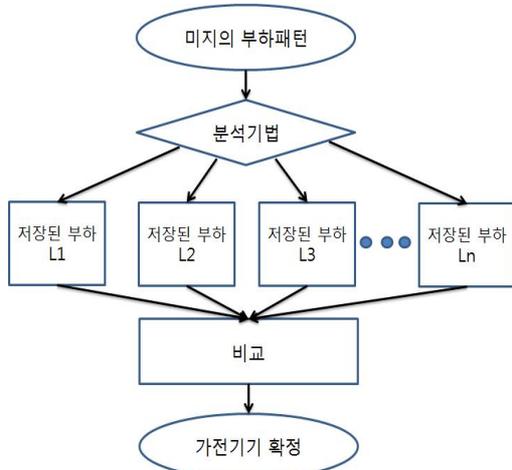
위의 세 가지 부하패턴을 비교해보면 먼저 전열기에 경우 기동 시 순간적인 기동 전력이 크게 나오지 않고, 기동 후에도 계속해서 일정한 전력을 소모하였다. 선풍기에 경우에는 평소전력에 4배가량의 전력이 기동 전력으로 소비되었고, 그 이후에는 일정한 전력을 소비하였다. 마지막으로 청소기의 경우에는 앞에 두 경우와 달리 콘센트에 연결하자마자 소량의 대기전력이 소모되었고 기동하였을 때 평소전력의 약 2.5배의 전력을 소모되었다. 또한 다른 기기들에 비해 높은 유효전력이 소비되었고, 일정한 부하패턴을 보였다. 위 사례들에서 확인할 수 있는 것과 같이 각각의 가전기기들은 상이한 전력 소비량을 보여주고 기동전력, 대기전력 등 다양한 요소들에 의해 서로 다른 부하 패턴을 가지게 되는 것과 기동 후에는 일정한 전력을 소모하는 것을 확인하였다. 따라서 이와 같은 특성을 사용하여 부하패턴을 서로 구분하는 것이 가능할 것이다.

그림 4는 앞서 측정했던 선풍기, 전열기, 청소기를 하나의 멀티탭으로 연결하여 일정한 시간간격을 두고 순차적으로 기동시켜 부하패턴을 측정해보았다. 측정 결과 각각의 가전기기들이 측정하였던 기기별 부하패턴의 모습이 그대로 반영되어 나타나는 것을 확인하였다. 가전기기의 기동 순서를 모르는 경우에서도 그림 1, 2, 3을 토대로 그림 4에 나타난 측정실험에서 선풍기, 전열기, 청소기 순으로 기동하였다는 것을 파악할 수 있다.

2.2 부하패턴측정

앞서 실험에서 가전기기들이 동시에 사용되는 경우에도 서로에게 영향을 주지 않고 각각의 부하패턴이 더해진 모습으로 부하패턴이 측정되는 것을 확인하였다. 이 장에서는 각각의 부하패턴을 분류하는 기법에 대하여 설명한다. 그림 5는 제안하는 기법의 순서도를 보여준다. 제안하는 기법에서는 새로운 부하패턴이 감지된 경우 정합 필터를 사용한 분

석기법을 통하여 어떤 부하와 가장 유사한 부하인지 판단하여 결론을 내린다.



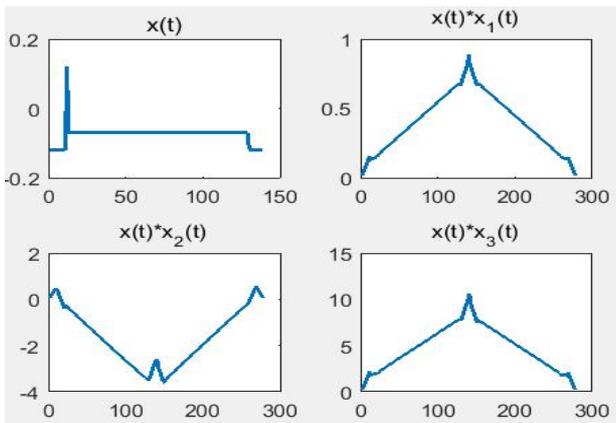
〈그림 5〉 분석 알고리즘

정합 필터에 사용되는 합성곱의 수식은 아래와 같다.

$$h_i(t) = x_i(T-t), i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$y_i(t) = x(t) * h_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h_i(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

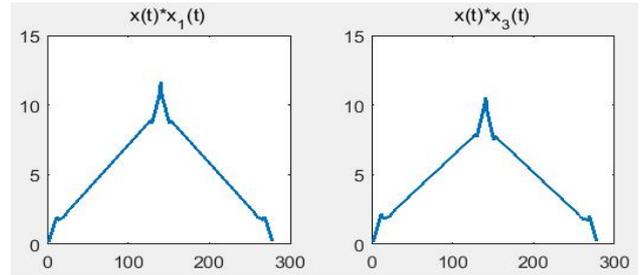
$x_i(t)$ 는 각 기기별 부하패턴을 의미한다. 본 연구에서는 전열기, 선풍기, 청소기의 3가지의 부하만 고려하였다. 식 (1)을 통해 $x_i(t)$ 에 대한 임펄스 응답 $h_i(t)$ 를 구할 수 있다. 제안하는 정합 필터를 통한 분류는 식 (2)를 통해 이루어진다. 미지의 부하 $x(t)$ 가 감지되었을 때, 저장된 부하 패턴들의 임펄스 응답과 미지의 부하패턴을 각각 합성곱한다. 그 결과 획득한 $y_i(t)$ 의 시간 T에서의 값을 세 가지 부하에 대하여 모두 구하고 비교에 앞서 최대 전력 값으로 보정한다. 최종적으로 획득한 값들 중 가장 큰 값을 가지는 것이 현재 감지된 신호의 가전기기로 판단한다.



〈그림 6〉 시뮬레이션 결과

〈그림 6〉에서 $x(t)$ 는 미지의 부하로써 시뮬레이션에서 선풍기 데이터를 대입하였다. $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ 는 각각, 선풍기, 전열기, 청소기를 나타낸다. 제안하는 기법을 MATLAB을 사용하여 모의 실험을 수행하였다. 시뮬레이션은 임의의 부하를 선풍기로 가정하여 무부하 상태에서 선풍기가 켜졌을 때 나오는 패턴을 기억한다 (그림 6 좌측 상단). 그림 6의 세 그래프는 저장된 전열기, 선풍기, 청소기의 부하패턴의 임펄스 응답과 저장한 임의 부하 데이터를 합성곱 해서 나온 결과이다. 이때 각 기기들의 저장된 부하패턴으로 그림 1, 2, 3의 결과를 사용하면 합성곱 결과 0이상의 값들만 표현되어서 시각적으로 이해를 돕기 위해 초당 데이터를 중간값으로 뺀 결과를 사용했다. 이때 T=139 이다. 미지의 부하와 합성곱을 한 결과를 살펴보면 선풍기, 청소기의 정합 필

터 결과 패턴은 비슷하고 저항성 부하인 전열기는 구별되는 패턴이 나타났다. 최종 T에서의 결과값은 전열기에서는 음의 값을 가졌고 선풍기와 청소기는 양의 값을 가졌다. 청소기의 최대 유효 전력은 약 3.5kW, 선풍기의 최대 유효 전력은 약 0.24kW 이기에 두 값의 크기를 보정하기 위해 선풍기 결과에 대하여 중간값을 빼주고 나서의 최대값 비율인 (170/13)을 곱해주면 아래 그림 7과 같은 보정 결과를 얻는다.



〈그림 7〉 시뮬레이션 보정 결과

보정 후 얻은 선풍기와 청소기의 정합 필터를 통과한 값은 T=139일 때, 각각 11.6, 10.1로 선풍기가 가장 큰 값을 가지기에 현재 확인된 부하는 선풍기로 결론 내릴 수 있었고, 청소기 같은 경우는 T=139일 때보다 T=140일 때 값이 10.6으로 더 크므로 정해진 주기에서 최대값을 갖지 않았다. 추가로 전열기, 청소기의 부하패턴이 들어왔을 때에도 위와 같은 방법으로 시뮬레이션을 진행했을 때 동일한 방법으로 부하를 분류해낼 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 정합 필터를 이용하여 기기별 부하패턴을 분류해내는 기법을 제안하였다. 이를 위해 전열기, 선풍기, 청소기의 부하를 실제 측정하여 데이터를 얻었고, 시각적인 이해를 돕기 위해 중간값을 빼서 데이터의 중심을 y=0으로 만들어서 실험에 사용하였다. MATLAB을 활용하여 정합 필터로 실험을 해본 결과 미지의 부하에 대하여 전열기, 선풍기, 청소기 세가지로 모두 잘 분류한 것을 확인하였다. 제안하는 기법은 실험실 환경에서 진행하였기 때문에 실제 가정에서 적용에 예로 사항이 있을 것으로 보이고, 값의 차이가 크게 나지 않기 때문에 세밀한 분류가 어려울 것 같다. 추후 각종 잡음에 대한 보정 기법과 용량성 부하, DC 전원 부하 등 다양한 기기들에 대한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. NRF-2015R1C1A1A02037774)

[참 고 문 헌]

- [1] “2030 에너지 신산업 확산전략”, 기후변화 대응 및 에너지 신산업 토론회, 1-52, 2015. 11. 23.
- [2] George W. Hart, “Nonintrusive appliance load monitoring,” Proceedings of the IEEE, vol. 80, no. 12, 1992.
- [3] 박성욱, 왕보현, “가정용 전력 모니터링을 위한 전력신호 분석 알고리즘 개발”, 한국지능시스템학회 논문지, 21(6), 679-685 (7 pages), 2011.12.
- [4] Sean Barker, Sandeep Karla, David Irwin, Peashant Shenoy, “Empirical Characterization, Modeling, and Analysis of Smart Meter Data”, IEEE Journal on Selected Area in Communications, 1312 - 1327, 2014