

비절전 가전기기를 위한 에너지 관리 시스템의 뉴로-퍼지 기반 지능형 추론 알고리즘 설계

Design of Neuro-Fuzzy based Intelligent Inference Algorithm for Energy Management System with Legacy Device

최인환* · 유성현* · 정준호* · 임묘택* · 오정준** · 송문규*** · 안춘기*
(In-Hwan Choi · Sung-Hyun Yoo · Jun-Ho Jung · Myo-Taeg Lim · Jung-Jun Oh ·
Moon-Kyou Song · Choon-Ki Ahn)

Abstract - Recently, home energy management system (HEMS) for power consumption reduction has been widely used and studied. The HEMS performs electric power consumption control for the indoor electric device connected to the HEMS. However, a traditional HEMS is used for passive control method using some particular power saving devices. Disadvantages with this traditional HEMS is that these power saving devices should be newly installed to build HEMS environment instead of existing home appliances. Therefore, an HEMS, which performs with existing home appliances, is needed to prevent additional expenses due to the purchase of state-of-the-art devices. In this paper, an intelligent inference algorithm for EMS at home for non-power saving electronic equipment, called legacy devices, is proposed. The algorithm is based on the adaptive network fuzzy inference system (ANFIS) and has a subsystem that notifies retraining schedule to the ANFIS to increase the inference performance. This paper discusses the overview and the architecture of the system, especially in terms of the retraining schedule. In addition, the comparison results show that the proposed algorithm is more accurate than the classic ANFIS-based EMS system.

Key Words : Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS), Home energy management system (HEMS), Legacy device, Training schedule notification

1. 서론

오늘날 가정에서 사용하는 전자제품의 종류는 다양화되고 그 기능은 고도화됨에 따라 가정에서의 전기에너지 사용도 큰 해마다 큰 폭으로 증가하고 있다. 이 때문에 가정용 가전기기들의 소비전력을 효율적으로 관리할 수 있는 에너지 관리 시스템이 폭넓게 연구되고 있으며[1-3], 에너지 관리 시스템을 구성하는 기술 중 하나인 대기 전력 관리 기술은 핵심적인 기술로 인식되고 있다[4,5]. 현재의 가정용 전자기기 사용 환경은 스마트 가전을 기반으로 한 자율형 홈 에너지 제어 환경으로 변화되어가는 추세에 있다. 하지만, 이러한 변화는 최근부터 시작된 흐름이며 지금껏 가정에서 사용해 온 가전기기의 제품수명 및 스마트 기능이 없는 일반 가전기기의 지속적인

구매수요를 고려할 때, 그러한 가정용 전자기기 사용 환경을 위한 홈 에너지 관리 시스템의 개발이 필요하다. 비절전 가전기기는 효율적인 에너지 소비가 이루어지지 못하는 가전기기이므로, 이와 같은 비절전 가전기기를 사용하는 가정 환경에서 사용자의 생활 환경이나 생활 패턴에 능동적으로 대처할 수 있는 새로운 에너지 절감 및 관리 시스템이 개발되어야 할 필요가 있다.

기존의 에너지 효율 향상기술 연구는 가전자체의 효율향상 혹은 스마트 플러그를 이용한 가전 전력제어 형태와 같은 단편적이고 수동적인 기술개발이 주를 이루었다[6]. 하지만, 자율제어 에너지 플랫폼을 이용하면 가정내 비절전 가전기기의 전력소비정보 분석이 가능하며, 사용자 에너지 사용패턴 기반의 능동적·자율적 에너지 제어가 가능하다. 이를 위한 자율적 에너지 제어의 핵심은 제어 대상인 비절전 가전기기의 향후 동작 상태를 결정해주는 추론 시스템에 있다.

지난 수십 년간 퍼지뉴럴네트워크를 기반으로 하는 추론 시스템은 널리 연구되고 있으며, 다양한 분야에 적용되어 실제 문제들을 성공적으로 해결하고 있다. 다양한 추론 시스템 중에, 적응형 네트워크 기반 퍼지추론 시스템 (ANFIS : Adaptive Network based Fuzzy Inference System)[7]은 학술영역이나 산업영역에서 널리 사용되고 있다. ANFIS는 기본적으로 퍼지로직의 개념과 뉴럴네트워크의 개념을 결합하는 하이브리드 지능 시스템의 구조를 가진다. 이 때문에 ANFIS는 유연한 시스템을 구성할 수 있다는 퍼지로직의 장점과 뉴

† Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea University, Korea. (E-mail: hironaka@korea.ac.kr)

* Dept. of Electrical Engineering, Korea University, Korea. (E-mail: {metty, ysh88, junho9503, mlim}@korea.ac.kr)

** eZEX Corporation, Korea, (E-mail: junny@ezex.co.kr)

*** Dept. of Electronics Convergence Engineering, Wonkwang University, Korea. (E-mail: mksong@wku.ac.kr)

Received : March 04, 2015; Accepted : April 24, 2015

탈네트워크 구조의 장점인 적응성을 동시에 가지는 특징이 있다. 위와 같은 ANFIS의 내재된 장점들은 ANFIS가 에너지 관리 시스템과 같은 비선형 다입력 시스템의 추론 기능을 담당하는데 적합함을 의미한다. ANFIS를 기반으로 한 지능형 에너지 관리 시스템은 다양한 전력 사용 현장에 적용되며 연구 및 개발되어 왔다[8-12]. 일반적으로, ANFIS 기반의 에너지 관리 시스템은 다양한 센서 정보를 입력으로 받고 대상 기기에 제어 신호를 보내주는 역할을 수행한다.

스마트 플러그, 스마트 가전기기 및 스마트 컨트롤러와 같은 스마트 기기들은 전력 사용 효율을 높이기 위한 기존의 에너지 관리 시스템에서 핵심적인 역할을 담당한다[13-15]. 하지만, 상대적으로 최근에 출시된 스마트 기기들을 에너지 관리 시스템 동작을 위해 가정에 새로 배치하기에는 비용 측면에서 무리가 있다. 대부분의 가정 환경에는 비절전 가전기기들이 설치되어 있으며, 이들은 플러그-앤-플레이 호환성이 없고 구식 ISA 기술표준을 따르고 있다. 그러므로, 스마트 가전기기 구입을 위한 불필요한 추가 지출을 방지하는 비절전 가전기기를 위한 지능형 에너지 관리 시스템의 중요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 재학습 시점 결정 기능과 입력 변수 선택 기능을 포함하는 ANFIS 기반 비절전 가전기기를 위한 에너지 관리 추론 알고리즘을 제안한다. 재학습 시점 결정 기능은 지속적으로 시스템이 들어오는 입력 정보들을 분석하여 ANFIS 내부 변수들의 재조정 여부를 적절히 판단해주는 역할을 수행하고 입력 변수 선택 기능은 시스템의 추론 성능에 크게 관여하지 않는 입력 변수를 파악한 뒤 ANFIS로 들어가는 입력 변수 개수 조정을 통해 ANFIS 시스템 구성에 걸리는 학습 시간을 단축시키는 역할을 수행한다. 본 논문에서는 제안된 추론 알고리즘을 통하여 지속적으로 변하는 입력 정보의 패턴 변화로 나타나는 ANFIS 추론 결과의 오차를 감소시킬 수 있음을 보인다.

2. 비절전 가전기기를 위한 에너지 관리 시스템

2.1 시스템 구성

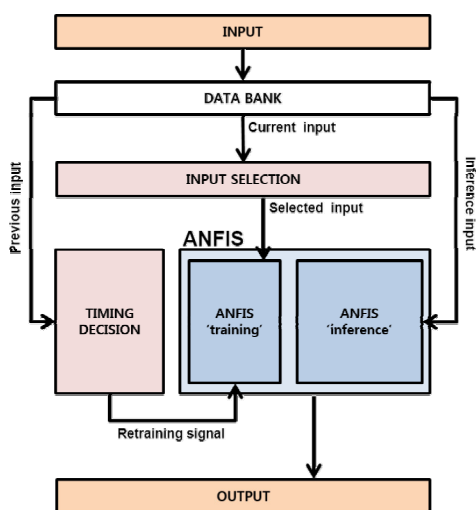


그림 1 추론 알고리즘 전체 구조

Fig. 1 Inference algorithm structure

본 알고리즘의 전체 구조는 그림 1과 같다. 시스템의 입력은 표 1에서와 같이 센서 정보 및 가전기기의 상태 정보로 구성된다.

표 1 입력 신호 정보

Table 1 Input signal information

입력 신호	입력 신호 내용
센서 정보	<ul style="list-style-type: none"> 온도 센서(범위:-40~80°C, 해상도:0.1°C) 습도 센서(범위:0~100%, 해상도:0.1%) 조도 센서(3단계의 대푯값 사용) 재실 센서(on/off 신호를 0/1로 표현)
가전기기 상태 정보	<ul style="list-style-type: none"> 가전기기의 시간대별 사용 패턴 정보 가전기기의 on/off 상황에 대한 확률 정보 (0~1)

알고리즘으로 들어온 입력은 'DATA BANK'에 저장된다. 'DATA BANK'에는 최근 일주일의 입력정보들이 저장되며 이를 기반으로 'TIMING DECISION' 기능이 동작한다. 비절전 가전기기의 향후 동작 상태를 추론하는 기능은 ANFIS가 담당하며, 'TIMING DECISION' 기능은 새로운 패턴의 입력 정보가 들어온 상황을 반영하기 위해 ANFIS 모델을 재학습시킬지 여부를 결정한다. 'TIMING DECISION' 블록에서 재학습 신호를 ANFIS로 내보내면 ANFIS는 새로운 패턴의 입력 정보를 학습하게 되며 이후의 추론은 조절된 ANFIS 매개 변수에 의해 결정된다. 'INPUT SELECTION' 기능은 추론 대상인 가전기기의 상태 추론에 미치는 영향이 작은 입력 정보를 추려내어, ANFIS를 재학습시킬 때 소요되는 시간을 최소화하는 역할을 수행한다. 'INPUT SELECTION'을 통해 제외시킬 ANFIS 입력 정보는 가능한 입력의 조합을 1세대 학습시킨 후의 추론 성능으로 결정된다[16]. ANFIS 모델이 재구성된 뒤, 입력 정보는 비절전 가전기기의 향후 상태 제어 정보를 출력한다.

2.2 비절전 가전기기

비절전 가전기기는 기존의 에너지 관리 시스템이 전력 관리 대상으로 하는 스마트 가전이 아닌 구형 가전기기를 말한다. 에어컨, 세탁기, 보일러, 전열기, 전구, 냉장고와 같은 기존에 가정에서 사용해왔던 대다수의 전자제품군을 포함한다. 해당 기기들은 과거의 ISA 기술표준을 따르기 때문에 최신의 스마트 가전기기 및 자율 전력 제어 시스템과의 호환성이 없다. 또한 제조사로부터의 해당 기기 대한 소프트웨어적인 지원도 중단된 경우가 많다. 따라서, 비절전 가전기기가 비치되어 있는 가정을 위한 에너지 관리 시스템은 각 비절전 가전기기의 상태 파악을 위한 전력 미터링 IC기술 및 기기식별 기술 등을 포함한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 맥 내에 비절전 가전기기를 그대로 사용하고 기존의 인프라를 적절히 이용해 대규모 투자 없이 즉시 현장에 적용할 수 있으며, 비용대비 효율의 극대화를 도모한다.

3. 뉴로 퍼지 기반 지능형 추론 알고리즘

본 논문에서 제안하는 뉴로-퍼지 기반 지능형 추론 알고리즘은 3가지 핵심 기능으로 구성된다. 그림 1과 같이 ANFIS 블록은 시스템 모델을 구성하여 가정 내 상황에 따른 목적 가전기기 상태를 추론하며, 'INPUT SELECTION' 블록은 ANFIS의 재학습에 소요되는 시간은 단축하는 기능을 수행하고 'TIMING DECISION' 블록은 변화되는 가정환경을 ANFIS 모델에 반영하기 위한 재학습 시점을 결정하는 역할을 수행한다.

3.1 Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)

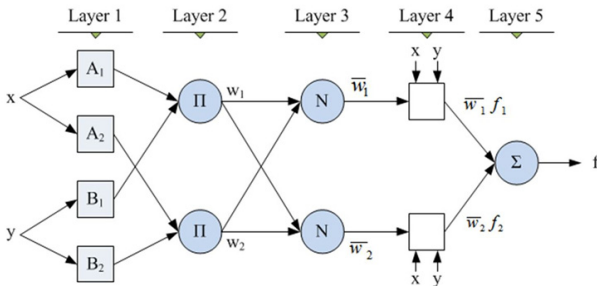


그림 2 ANFIS 구조
Fig. 2 ANFIS structure

ANFIS[7]는 신경회로망과 퍼지이론을 동시에 가장 쉽게 이용하는 방법으로 신경회로망의 구조와 학습능력을 이용하여 환경으로부터 얻은 입·출력 정보로부터 언어변수의 membership 함수와 제어규칙을 환경에 맞게 자동 조정하는 방식이다. 그림 2는 ANFIS의 전체 구조를 보여준다. ANFIS는 5개 층의 피드포워드 신경망으로 나타낼 수 있다. 그림 2의 ANFIS 모델의 구조는 1차 스케노 퍼지모델에 대응한 구조를 보여준다. 전형적인 스케노 모델의 퍼지 규칙[17,18]은 아래와 같은 형식을 가진다.

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x,y) \quad (1)$$

x 와 y 는 입력 변수이며 f 는 추론 결과 출력을 의미한다. 1층은 퍼지화층 (fuzzification layer)으로서 이 층에 있는 뉴런은 membership 함수를 의미하고 membership 함수의 형태는 종형이다. 2층은 규칙층 (rule layer)으로서 각각의 뉴런은 스케노형 퍼지 규칙 하나에 대응하며 퍼지화 뉴런은 입력을 받아 그것이 표현하는 규칙의 수행 강도를 계산한다. ANFIS에서는 규칙 결합을 곱셈 연산자를 써서 평가한다. 3층은 정규화층 (normalization layer)으로서 이 층의 뉴런은 규칙층에 있는 모든 뉴런에서 입력을 받아 그 규칙의 정규화 수행 강도를 계산한다. 4층은 역퍼지화층 (defuzzification layer)으로서 이 층에 있는 뉴런은 각각 정규화 뉴런에 연결되어 초기 입력 x 와 y 를 받는다. 역퍼지화 뉴런은 규칙의 가장 결론값을 계산한다. 5층은 합계뉴런 (summation neuron)으로서 이 뉴런은 모든 역퍼지화 뉴런의 출력을 더해 전체 ANFIS 출력 f 를 만든다.

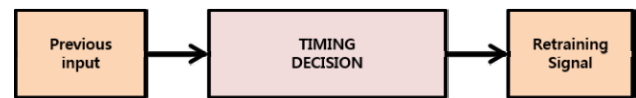
3.2 입력 변수 선택

ANFIS가 가지는 구조상 입력 변수의 개수가 늘어날수록 ANFIS의 성능이 증대될 가능성이 커진다. 다만, 필요 이상의 입력 변수 개수는 기본 모델의 크기를 확대시키고 모델을 구성하는 과정에서 계산 복잡도를 증대시키는 단점을 불러온다. 이를 완화하기 위해서 입력 변수의 중요도 우선순위를 정하고 필요한 만큼의 입력 변수를 채택하는 입력 변수 선택 방법이 필요하다. ANFIS를 위한 입력 변수 선택법 [16]은 적은 시간을 들여서 적절한 입력 변수를 선택할 수 있는 발견적 방식을 이용한다.

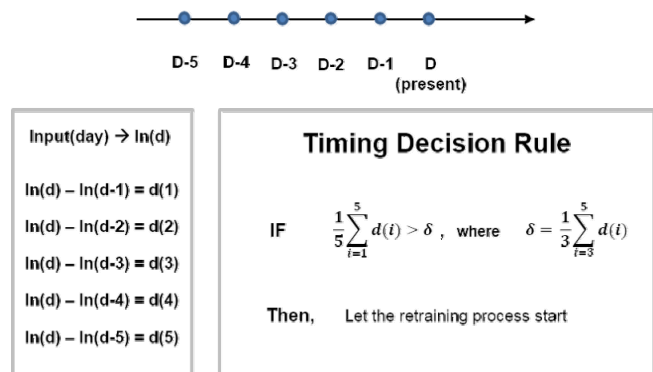
ANFIS는 하이브리드 학습 방식을 채용하고 있기 때문에 지정한 학습 횟수 중 1 세대 (epoch)의 학습만 수행해도 어느 정도의 만족스러운 결과를 생성할 수 있는 특성이 있다. 이 때문에 다양한 입력 변수 조합을 1 세대만 학습시킨 결과를 비교해볼 때, 각각의 결과를 RMSE (root mean squared error)로 표현하고 가장 좋은 결과를 보이는 입력 변수 조합을 발견적 방식으로 찾아낼 수 있다. 1 세대의 학습만 진행할 입력 변수들의 조합은 대상 입력 개수 m 과 선택할 입력 개수 n 으로 표현할 때, C_m^n 개의 가짓수를 가진다.

3.3 재학습 시점 결정

일반적으로 ANFIS는 시스템으로 들어오는 입력 신호의 패턴이 크게 변하지 않을 때, 지속적으로 좋은 성능을 보인다. 하지만, 비절전 가전기기를 위한 에너지 관리 시스템의 추론기 역할을 담당할 경우는 다양하게 변화하는 입력 변수들의 패턴을 반영할 수 있어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 에너지 관리 시스템에 적용되는 ANFIS를 위한 재학습 시점 결정기법을 제안한다.



(a) 재학습 시점 결정 입력 구조



(b) 퍼지 기반 재학습 시점 결정기 퍼지 규칙

그림 3 재학습 시점 결정 구조

Fig. 3 Structure of timing decision

그림 3-(a)는 재학습 시점 결정 블록의 입출력 구조를 보여준다. 'Previous input'은 그림 1의 'DATA BANK'에 저장해놓은 이전 6일의 입력 정보들을 의미하고, 'Retraining Signal'은 ANFIS로 보내지는 재학습 여부에 대한 판단 신호이다. 'Previous input'은 6일간의 전체 입력 정보와 목적 비절전 가전 기기의 상태 정보를 포함하는데, 목적 비절전 가전 기기의 상태 정보는 ANFIS 변수 중 '목적 출력 (Target output)' 변수에 해당한다.

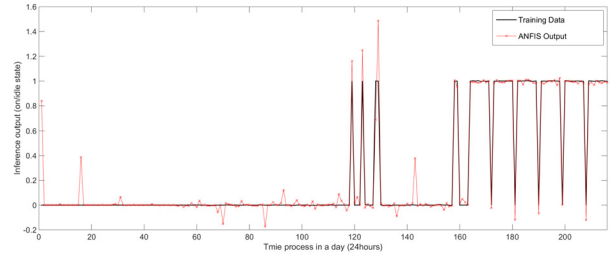
재학습 시점 결정 기능의 목적은 기존에 들어오던 입력 정보들과 최근의 입력 정보들이 유사하지 않을 때, ANFIS 모델에 재조정이 필요하다는 신호를 보내기 위함이다. 그림 3-(b)의 왼쪽 박스에서는 날짜별 입력 정보 차이값 $d(i), (i=1,2,3,4,5)$ 를 구하는 과정을 보여준다. 최근 6일간의 입력 정보를 바탕으로 인접 날짜별 정보의 차이값을 $d(i)$ 라고 정의한다. 재학습 여부 판단은 간단한 퍼지 규칙을 사용한다. 퍼지 규칙은 전체 날짜별 입력 정보의 차이값이 특정 문턱값 이상이면 재학습 과정을 시작하는 신호를 출력으로 내보낸다. 여기서 문턱값은 최근 3개의 입력 정보 차이값을 의미한다. 본 과정은 최근 6일간의 입력 정보값들의 변화량 평균이 최근 4일간의 입력 정보값들의 변화량 평균보다 클 때, ANFIS의 재학습이 필요하다고 판단한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

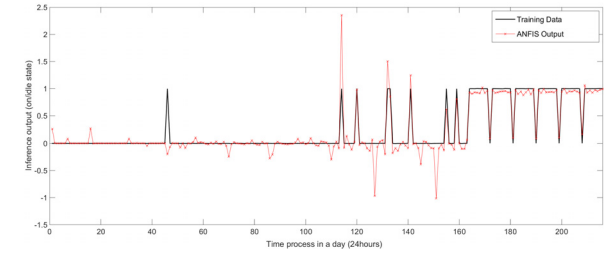
본 논문에서 제안된 뉴로-퍼지 기반 지능형 알고리즘의 성능은 목적 출력값과 추론 결과 출력값간의 RMSE 값으로 측정하였으며, 어떤 추가 기능도 제공되지 않은 ANFIS 알고리즘 추론 결과값과의 비교 평가를 진행했다. 시뮬레이션에 사용된 입력 변수 및 목적 출력 변수 데이터는 상용 센서 스펙에 맞춘 가상의 데이터와 시나리오를 기반으로 형성하여 사용하였다. 또한 실험을 위한 목적 출력 변수는 TV 셋탑 박스의 ON/OFF 상태로 지정한다.

4.1 ANFIS 재학습 여부에 따른 추론 결과

그림 4-(a)는 이전과는 다른 새로운 입력 정보 패턴이 시스템으로 들어왔을 때, 최근 1주일의 정보를 반영한 결과 재학습 시점 결정 기능이 동작하여 재학습을 시행하라는 추론 결과가 도출되었고, 이에 대한 ANFIS 추론 결과를 보여준다. 그림 4-(b)는 새로운 입력 정보가 들어왔지만, 그에 대한 즉각적인 재학습이 이루어지지 않은 ANFIS 시스템에 대한 추론 결과이다. 각 그래프의 x 축은 하루 전체의 시간흐름을 의미하는 값들을 표현한 값이며, y 축은 추론 결과값을 표현하는 값으로 나타난다. 또한 각 그림의 검은색 실선은 새로운 입력 정보에 대한 목적 출력값을 의미하며, 붉은색 실선은 현재 시점의 입력값이 들어왔을 때의 추론 결과를 의미한다. 각 경우에 대한 성능 비교는 표 2에서 보여주는 것과 같이 재학습 여부에 대한 판단 기능을 포함한 추론 시스템이 ANFIS만 사용한 추론 시스템보다 더 낮은 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다.



(a) 재학습된 ANFIS 추론 결과



(b) 재학습하지 않은 ANFIS 추론 결과

그림 4 기존과 다른 입력 정보 패턴에 대한 추론 결과

Fig. 4 Inference result for new input pattern

표 2 재학습 여부에 따른 전체 구간 오차 비교

Table 2 Error comparison on entire section

	재학습 기능을 포함한 추론 시스템	기본 ANFIS
전 구간 추론 오차의 합	1.8281	5.4844

4.2 입력 변수 선택 기능 여부에 따른 추론 결과

본 시스템의 입력 변수 중 목적 비절전 기기의 종류에 따라 연관성 체크를 할 수 있는 변수는 표 1에 나타난 것과 같이 센서 입력 정보이다. 센서 입력 정보로는 온도, 습도, 재실, 조도 센서가 사용되는데 이와 같은 센서 정보들은 특정 비절전 기기에 따라 연관성의 차이가 있다. 시뮬레이션에서는 선택가능한 총 4개의 센서 정보 중 2개의 센서 정보만 선택하는 경우를 관찰했다.

2개의 센서 입력을 선택하는 경우는 $C_2^4 = 6$ 개의 가지수가 생긴다. 각각의 경우는, "1) 온도+습도 2) 온도+재실 3) 온도+조도 4) 습도+재실 5) 습도+조도 6) 재실+조도"로 구분할 수 있다. 각 경우에 대한 입력 선택 과정을 진행하기 위해 1회 이상의 세대(epoch)에 대한 학습을 수행한 결과 중 첫 1회에서의 RMSE를 비교해 본다. 그 결과는 그림 5에서 확인할 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 6번째 경우인 "재실+조도" 센서만 사용하는 경우가 다른 5가지 경우에 비해 첫 1회의 세대 학습만 거친 결과가 월등히 뛰어나다. 이는 "재실+조도" 센서가 목적 비절전

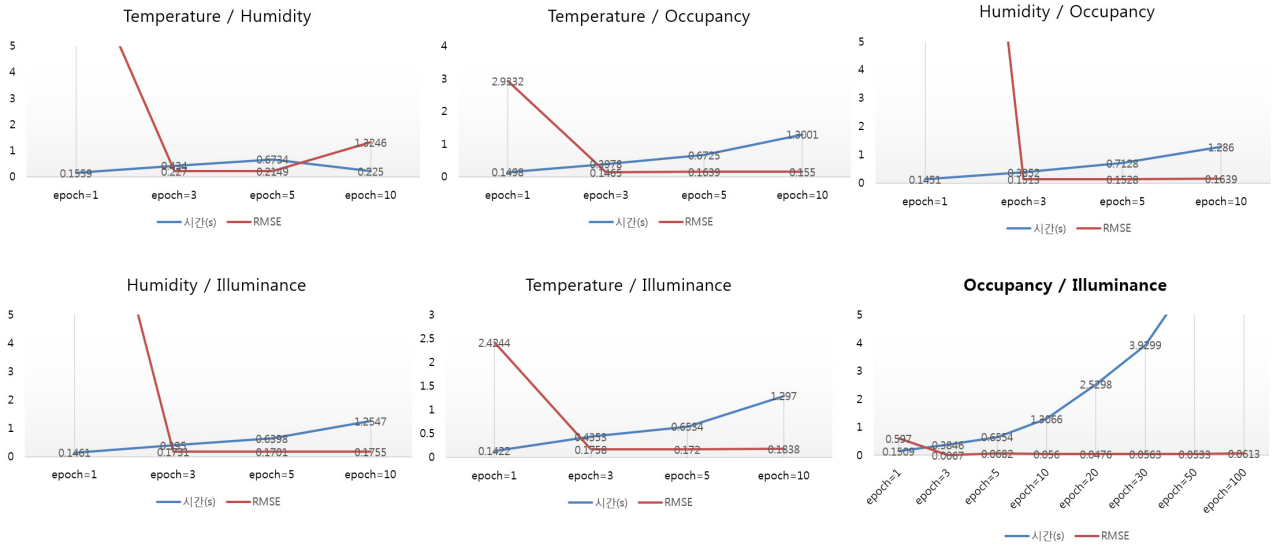


그림 5 2개 입력 변수에 대한 6가지 조합의 학습 결과
 Fig. 5 Six cases of training result for 2 input selection

기기인 셋탑박스의 상태에 가장 큰 연관성을 가지고 있고 다른 센서 입력 정보의 보합은 연관성이 크지 않다는 의미로 해석할 수 있다. 또한 이와 같은 방식으로 진행된 입력 선택 과정에서 하이브리드 학습 구조를 가지고 있는 ANFIS 모델 고유의 특징인 1세대 학습결과와 뛰어난 추론 성능을 시뮬레이션으로 확인하였다. 계속적으로, 입력 선택에 의해 2개의 센서 입력 조합을 선택한 뒤, 특정 수준의 추론 정확도를 확보하는 추가 학습 횟수를 진행하는 시간과 입력 선택 기법을 적용하지 않은 ANFIS의 학습에 소요되는 시간의 비교도 표 3에서 확인할 수 있다.

표 3 소요 시간 비교 (입력 선택 기능 포함 vs. 기본 ANFIS)
 Table 3 Time consumption comparison (input selection vs. basic ANFIS)

		소요시간 (s) (성능이 최소치로 유지되는 시작 지점까지의 소요 시간)	
입력 선택 기능 포함한 추론 시스템	입력 선택 시간 (1세대 학습 소요시간)	선택된 입력 변수를 이용한 학습 시간	
	0.89	2.5298	
		3.4198	
기본 ANFIS		8.3543	

표 3에서는 입력 선택 기능이 포함되어 6번째 경우인 “재실+조도” 센서를 선택한 추론 결과와 기본 ANFIS 추론 결과에 소요된 시간을 비교하여 나타낸다. 학습이 매 세대를 거듭하게 되면 성능이 최소치로 유지되기 시작하는 지점을 확인할 수 있다. 시뮬레이션에서는 그 지점을 시작지점이라고 정의하고, 입력 선택

기법을 포함한 추론 시스템의 총 소요시간은 6가지 경우의 1세대 학습 소요시간 총합과 입력 선택 기법에 의해 선택된 입력 변수를 이용한 성능 시작 지점까지의 소요시간을 더한 값으로 정의한다. 이를 통해 기본 ANFIS 모델을 사용한 총 소요시간은 8.3543초이며 입력 선택 기능을 포함한 제안된 추론 시스템의 총 소요시간은 3.4198초로 만족할만한 성능까지 이르는데 걸리는 시간을 약 2.4배 단축한 것을 확인할 수 있다. 그림 6에서는 선택된 2개의 입력 변수를 사용한 추론 결과를 나타낸다. 그림 6의 푸른색 실선은 목적 출력값인 비절전 기기의 상태 제어값을 0과 1로 표현한 것이며, 녹색 실선은 원하는 비절전 기기의 상태값을 따라갈 수 있는지 여부를 보여주는 입력 선택 기능을 포함한 추론 시스템의 추론 결과값이다. 추론 임계값인 0.5로 지정할 때, 좋은 추론 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

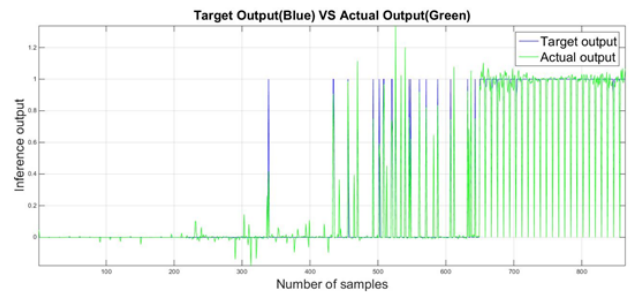


그림 6 입력 선택 기법을 적용한 추론 시스템의 추론 결과
 Fig. 6 Result of inference system with input selection

5. 결 론

본 논문에서는 비절전 가전기기의 에너지 관리를 위한 재학습

시점 결정 및 입력 변수 선택 기능이 포함된 뉴로-퍼지 기반 추론 시스템을 제안하였다. 제안된 추론 시스템은 기존의 ANFIS만 사용한 에너지 관리 시스템에 비해 학습에 소요되는 시간이 감소되었고 새로운 입력 정보 패턴이 들어왔을 때의 추론 성능은 기존의 추론 시스템에 비해 뛰어난 성능을 보였다. 따라서, 제안한 알고리즘을 통해 비절전 기기가 사용되는 가정 환경에서 에너지 관리용 추론 시스템이 갖춰야 할 입력 선택 기능과 재학습 시점 판단 기능의 중요성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No. 20142010102390) 및 2015년도 BK21 플러스 사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

References

- [1] S. J. Lee, K. Beom and S. H. Lee, "Joint energy management system of electric supply and demand in houses and buildings," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 29, no. 6, pp. 2804-2812, 2014.
- [2] K. Iimura, M. Yamazaki and K. Maeno, "Results of electrical system and Home Energy Management System for "Omotenashi House" in Solar Decathlon Europe 2012," *Energy and Buildings*, vol. 63, pp. 149-161, Nov. 2014.
- [3] T. Yoshikawa and S. Saraya, "HEMS assisted by a sensor network having an efficient wireless power supply," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 49, no. 3, pp. 947-977, 2013.
- [4] S. W. Lee, G. Y. Ryu, Y. H. Chon, and H. J. Cha, "Automatic Standby Power Management Using Usage Profiling and Prediction," *IEEE Trans. on Human-Machine Systems*, vol. 43, no. 6, pp. 535-546, Nov. 2013.
- [5] M. S. Lee, Y. S. Uhm, Y. Kim, G. Y. Kim, and S. H. Park, "Intelligent power management device with middleware based living pattern learning for power reduction," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 2081-2089, Nov. 2009.
- [6] F. Corno and F. Razzak, "Intelligent Energy Optimization for User Intelligible Goals in Smart Home Environments," *IEEE Trans on Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2128-2135, Dec. 2012.
- [7] J. S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," *IEEE Trans. System, Man, Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, May. 1993.
- [8] C. K. Ahn, "Some New Results on Stability of Takagi-Sugeno Fuzzy Hopfield Neural Networks", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 179, no. 1, pp. 100-111 Sep. 2011.
- [9] C. K. Ahn, "Passive and Exponential Filter Design for Fuzzy Neural Networks", *Information Sciences*, vol. 238, pp. 126 - 137, Jul. 2013.
- [10] C. K. Ahn, "Receding Horizon Disturbance Attenuation of Takagi-Sugeno Fuzzy Switched Dynamic Neural Networks", *Information Sciences*, vol. 280, pp. 53 - 63, Oct. 2014.
- [11] Y. Ozturk, P. Jha, S. Kumar and G. Lee, "A personalized home energy management system for residential demand response," in *Proc. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, 2013, pp. 1241-1246.
- [12] J. J. Cardenas, L. Romeral, A. Garcia, and F. Andrade, "Load forecasting framework of electricity consumptions for an intelligent energy management system in the user-side," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 5, pp. 5557-5565, Apr. 2012.
- [13] I. H. Choi, J. H. Lee and S. H. Hong, "Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home," *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2011 IEEE*, pp. 1-5, May. 2011.
- [14] I. Mauser, M. Dorscheid, F. Allerdig, and H. Schmeck, "Encodings for Evolutionary Algorithms in smart buildings with energy management systems," *Evolutionary Computation (CEC), 2014 IEEE Congress on*, pp. 2361-2366, Jul. 2014.
- [15] A. Kailas, V. Cecchi, and A. Mukherjee, *Handbook of Green Information and Communication Systems (Chapter.2)*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of North Carolina at Charlotte, 9201 University City Blvd., Charlotte, NC 28223-0001, USA, 2013.
- [16] J. S. Jang, "Input selection for ANFIS learnig," *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 2, pp. 1498-1499, 1996.
- [17] L. A. Zadeh, "Fuzzy algorithms," *Information and Control*, vol. 12, no. 2, pp. 94-102, Feb. 1968.
- [18] L. A. Zadeh and A. Lotfi, "Fuzzy logic = computing with words," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 103-111, May. 1996.

저 자 소 개



최 인 환(In-Hwan Choi)

2010년 고려대학교 전기전자전공공학부 학사. 2010년~현재 고려대학교 전기전자공학부 석·박사 통합과정. 관심분야는 영상 기반 객체 검출 및 추적, 지능형 추론 알고리즘.



유 성 현(Sung-Hyun Yoo)

2013년 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 졸업. 2013년 3월 ~ 현재 고려대학교 전기전자공학과 석·박사 통합과정. 관심분야는 최적 제어, 강인 제어, 지능형 추론 알고리즘.



정 준 호(Jun-Ho Jung)

2013년 Missouri State University Department of Physics, Astronomy and Materials Science 졸업. 2013년~ 현재 고려대학교 메카트로닉스 협동 석사과정. 관심분야는 최적 제어, 지능형 추론 알고리즘.



임 묘 택(Myo-Taeg Lim)

1985년 고려대학교 전기공학과 학사. 1987년 동 대학원 석사. 1994년 Rutgers University 전기공학 박사. 1996년~현재 고려대학교 전기전자공학부 교수. ICROS Fellow. 관심분야는 최적 제어 및 강인제어, 영상 기반 제어 및 추종, 자율주행 로봇 및 차량, 지능형 차량 제어시스템.



오 정 준(Jung-Jun Oh)

1996년 성균관대학교 전자공학과 학사. 1996년-2001년 삼성전자 컴퓨터 사업부. 2001년~현재 이젝스(주) 유미디어(u-Media) 연구소 수석연구원.



송 문 규(Moon-Kyou Song)

1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1994년 3월~현재 원광대학교 전자융합공학과 교수. 1999년 9월~2000년 8월 캐나다 University of Victoria, 객원교수. 2006년 2월~2007년 2월 미국 Stanford University, 객원교수. 관심분야는 디지털 통신시스템 설계, 채널 부호화, 무선통신.



안 춘 기(Choon-Ki Ahn)

2000년 고려대학교 전기전자전공공학부 학사. 2002년 고려대학교 전기공학과 석사. 2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사. 2006년~2008년 삼성전자 디지털프린팅사업부 책임연구원. 2008년~2010년 원광대학교 전자및제어공학부 조교수. 2010년~2012년 국립서울과학기술대학교 조교수. 2012년~현재 고려대학교 전기전자공학부 부교수.