

공조시스템에 있어서 ANFIS를 이용한 속도 추정기개발에 관한 연구

A Study on speed-observer using the Adaptive Network Fuzzy Inference System For a Room Air-Conditioner

김형섭^o, 정달호, 양이우

Hyung-sup Kim, Dal-ho Cheong, lee-woo Yang

LG Electronics Living System Research Laboratory, 327-23, Gasan-Dong, Keum Chun, Seoul
152-020 Korea

E-mail : hskim@lsl.goldstar.co.kr

Abstract

가전제품에 사용되고 있는 단상유도전동기의 가변속제어를 통해 다양한 소비자의 요구조건에 만족하는 제품을 개발하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 가변속제어에 필요한 속도정보를 피이드백받기 위해 유도전동기의 입력전압과 전류를 이용하여 속도추정기를 Adaptive Network Fuzzy Inference System을 이용하여 개발하였다.

1. 序 論

가전제품에 주로 사용되고 있는 단상유도전동기는 직류전동기에 비해 견고하고 무게, 크기, 유지보수면에서 우수한 반면 비선형성인 자속과 토오크 성분 변수의 간섭으로 가변속 구동이 힘들기 때문에 주로 정속도 구동용으로 사용되어 왔다.

그러나 환경의 변화에 따라 소비자들의 생활 패턴이 다양화되고 가전제품에 대한 소비자들의 요구 또한 다양화/다기능화 추세가 진행되고 있다. 이러한 소비자들의 요구에 부응하기 위해서는 종래의 정속도 구동용으로 주로 사용되고 있는 단상유도전동기로는 불가능하게 되었다. 따라서 위상제어방법이나 벡터제어, 인버터를 채용한 제어등이 속속 가전제품에 적용되기 시작하고 있다.

본 연구에서의 Target System은 공조기(에어콘)으로써 취침기능이나 에너지절약등의 문제점을 해결하기 위해서는 가변속제어를 실현할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 또한 공조기시스템에서의 Compressor내부는 고온, 고압의 상태이므로 속도를 피이드백받을 수 있는 센서를 장착할 수도 없을 뿐만아니라 다른 센서를 사용할 경우 Cost상승이라는 문제점이 있으므로 반드시 센서리스제어를 실현하여야 한다.

이러한 센서리스제어를 실현하기 위해 Compressor의 입력전류와 전압값을 이용하여 모터 회전자의 회전속도를 추정하는 상태관측기를 Adaptive-Network Fuzzy Inference System[1]을 적용하여 구축한 후, 위상제어를 통한 가변속제어기를 설계함으로써 다양한 소비자의 요구와 에너지절약의 문제를 해결하고자 한다.

본 연구에 있어서의 목적은 Compressor의 입력 전압과 전류를 이용하여 속도를 추정하는 상태관측기의 설계로 제한한다.

2. 시스템(compressor)特性

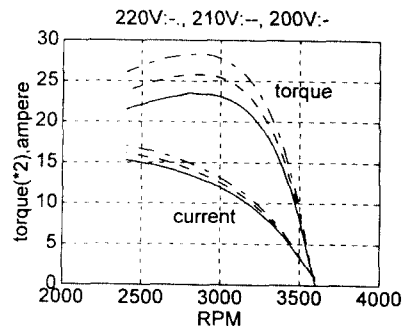
Compressor의 입력전압과 전류가 회전속도와 어떤 관계가 있는지를 알아본다.

[그림 1]에서 보는 바와같이 일정 Torque가 걸려 있을 때 입력전압이 클수록 높은 RPM으로 회전하며 입력전류가 일정하게 흘렀을 때에도 높은 전압일수록 회전속도가 높다는 것을 알 수 있다.

한편 어떤 부하조건하에서 일정속도로 회전시키기 위해서는 부하조건에 따라 입력전압이 변화된다는 사실을 알 수 있다.

따라서 Compressor의 회전속도가 입력전압과 전류값에 따라 변동하고 있음이 분명하다. 그러나 이들 입력전압과 전류가 회전속도와 관계가 Hard-coupling되어 있어서 수학적으로 표현할 수 없게 되어 있다.

불확실하고 애매모호한 시스템에 대해 인간의 지식과 경험에 의한 정성적인 부분을 모델링할 수 있는 Fuzzy Logic을 도입하여 이 문제를 해결하고자 하였다.



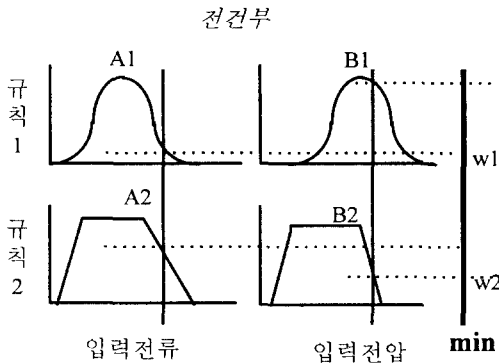
[그림 1] 시스템의 speed-torque곡선

3. Adaptive Network-based Fuzzy Inference System(ANFIS)

ANFIS는 기본적으로 시스템의 입출력데이터를 이용하여 Backpropagation으로 Fuzzy Inference System(FIS)을 Tunning하는 알고리즘으로 Fuzzy System에 학습기능을 부여한 것이다. 여기서 사용되는 Network Structure는 FIS에 있는 변수들을 Gradient Method로 계산하기 쉽도록 한 구조이다. 이렇게 계산된 Gradient Vector가 얻어지면 측정된 오차를 최적화하는 많은 알고리즘을 적용할 수가 있게 된다. 이러한 과정을 신경회로망에서는 학습이라고 한다.

본 연구에 있어서는 Compressor의 입력전압과 전류를 입력으로 하였을 때 출력으로 회전속도가 되도록 시스템을 구성하였다. 즉, 벡터 T=[입력전압, 입력전류, 회전속도]를 Training vector로 한 2입력, 1출력을 갖는 속도추정기가 된다.

3.1 퍼지추론부



후건부

회전속도1 = a*입력전류+b*입력전압+c

회전속도2 = p*입력전류+q*입력전압+r

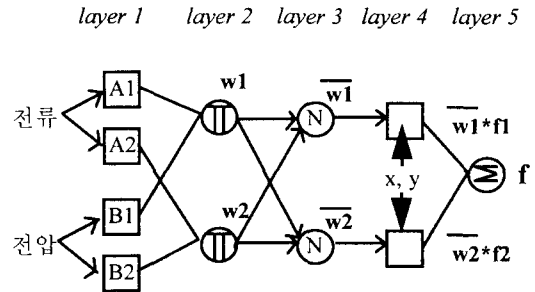
weighted average

$$\text{회전속도} = \frac{w_1 \text{회전속도}_1 + w_2 \text{회전속도}_2}{w_1 + w_2}$$

[그림 2 퍼지추론도]

퍼지추론부는 다음과 같이 구성되어 있다. 2입력, 1출력으로 각각의 입출력변수의 membership function의 shape는 bell-shape로 5개의 fuzzy변수로 구성되어 있으며, implication method는 min방법, defuzzification은 weighted average방법을 사용하였으며, 특히 후건부는 first order Sugeno type으로 구성되어 있다.

3.2 Adaptive Network구성도



[그림 3 Adaptive Network구성도]

Adaptive network에 있는 변수들(FIS의 입력변수들의 membership function A, B와 후건부의 first order sugeno type에 있는 변수 a, b, c, p, q, r 등)을 찾아내기 위해 Gradient/Backpropagation방법을 사용할 수 있으나 일반적으로 Local minimum에 빠질 위험성이 크므로 Gradient방법과 RMSE를 결합한 Hybrid learning rule[2]을 적용하였다.

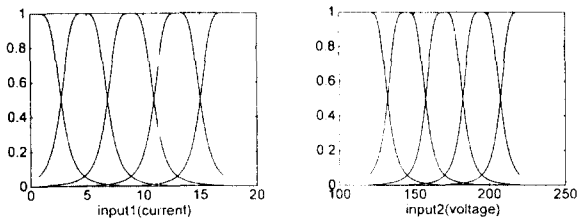
이 방법은 forward pass와 backward pass의 2단계로 나누어서 수행을 하게 되는데 forward pass에서는 FIS의 후건부에 해당하는 first order sugeno type의 식들이 주어진 입력데이터에 대해 선형적이므로 RMSE를 최소화시킬 수 있는 변수(p, q, r, a, b, c)들을 결정하게되며 결국 Global optimal point로 이동시킨다. 이후, backward pass에서는 Backpropagation방법을 통하여 계산된 에러가 최소화 되도록 membership function을 조정하게 됨으로써 Backpropagation이 안고 있는 문제점을 해결할 수 있게 된다.

이렇게 하면 search space의 dimension을 줄일 수 있고, 또한 수렴속도도 빠르게 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

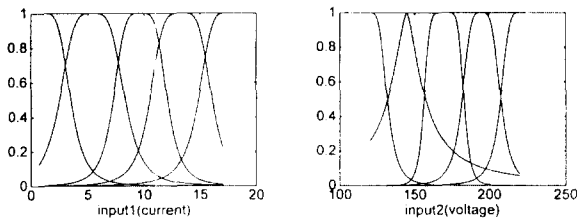
4. 實驗結果

ANFIS알고리즘을 적용하기전의 입력변수, 즉, 전류, 전압에 대한 membership function의 shape가 아래 [그림 4]와 같이 설정해두었다. Hybrid learning rule을 100번 반복한 후에 재설정된 입력변수의 membership function의 shape가 [그림 5]와 같이 변경됨을 알 수 있다.

일반적으로 FIS을 설계할 때 membership function의 shape를 어떻게 설정할 것인가에 따라 performance가 결정되므로 중요한 factor가 된다. 그러나 membership function을 어떻게 설정할 지에 대한 명확한 idea가 없을 때 ANFIS기법을 통하여 FIS의 membership function을 최적화시킬 수가 있다.



[그림 4] 초기 membership function



[그림5] 최적화된 membership function

적용된 규칙은 다음과 같이 설정되어 있다.

[rule 1]

If 입력전류 is small and 전압 is big then
회전속도 is $p1 * \text{전류} + q1 * \text{전압} + r1$

[rule 25]

If 입력전류 is big and 전압 is big then
회전속도 is $p25 * \text{전류} + q25 * \text{전압} + r25$

후건부의 first oder Sugeno type에서의 파라메터 p, q, r에 대한 결과는 [표 1]과 같이 결정되었다.

[표 1] FIS 후건부의 파라메터의 결정

	p	q	r
규칙 1	-65.07	0.608	3605
규칙15	-70.6	2.578	3306
규칙25	-213.4	24.81	656.5

최종적으로 ANFIS기법을 적용한 후의 설정된 FIS의 결과는 다음과 같다.

•minimal training RMSE = 1.42 rpm

•minimal checking RMSE = 2.97rpm

5. 結 論

공조기의 compressor의 회전속도를 피드백 받기 위해서는 기구적으로 문제점이 있기 때문에 알고리즘적으로 속도추정기를 만들지 않으면 가변속제어가 어렵게 되어있으므로 본 연구결과를 바탕으로 가전제품의 유도전동기의 가변속제어기법을 보다 적극적으로 수행할 수 있는 계기가 되었다. 일반적으로 50rpm 정도의 차이가 나지만 제품의 성능에서 차별화가 가능하므로 위에서 언급한 검증에러가 50rpm과 비교하여 상당히 작은 에러이므로 문제가 되지 않으리라 판단된다.

[참고문헌]

- [1] Jang, J.-S.R., "ANFIS: Adaptive-Neural-based Fuzzy Inference System", IEEE Trans. on Systems, vol.23, No.3, pp665~685, 1993
- [2] G.C.Goodwin and K.S.Sin."Adaptive Filtering Prediction and Control", Prentice-Hall, 1984
- [3] Jang,J.-S.R.,"Fuzzy modeling using generalized neural networks and Kalman filter algorithm", in Proc. Ninth Nat. Conf. Artificial Intell.(AAAI-91) July 1991, pp762-767
- [4] L. Ljung, "System Identification : Theory for the user", Prentice-Hall, 1987