

퍼지 로직 컨트롤러를 이용한 차량 정속 주행 시스템의 구현

* 김 영민*, 이 주필*, 정 형환**, 임 영도**, 이 준탁**

* 동아대학교 대학원 전기공학과 석사과정 ** 동아대학교 전기·전자·컴퓨터 공학부 교수

Implementation of Cruise Control System using Fuzzy Logic Controller

Kim Young-Min, Lee Joo-Phil*, Chong Hyung-Hwan**, Yim Young-Doe**, Lee Joon-Tark**

* Graduate Student, Dept of Electrical Engineering, Dong-A Univ.

** Professor, Dept of Electric-Electronic-Computer Engineering, Dong-A Univ.

Abstract - In this paper, we suppose a fuzzy logic controller for cruise control of vehicle. Generally, fuzzy logic controller is known as a controller which can be coped with a non-linear and a complex system.

The proposed fuzzy logic controller consists of three input variables ; that is, a desired speed, a current vehicle speed, and a current acceleration , and one output variable , throttle angle. The supposed fuzzy logic controller for engine speed control system is implemented on 80586 microprocessor with DT-2801

1. 서론

최근, 자동차의 기계적인 요소의 발전과 더불어 차량 성능을 향상 시키고 운전자로 하여금 보다 안전하고 쾌적한 운전을 가능하도록 하기 위해 각종 센싱 기술과 제어기술이 고도로 응용되는 자동차 전자기술이 차량의 전반적인 요소에 걸쳐 다양하게 적용되어 오고 있다. 운전자가 미리 정해놓은 속도로 일정하게 운행을 가능하게 하는 정속주행 시스템도 한 예이다.

그러나, 종래의 정속 주행장치는 자동차의 동특성이 기지이고 동특성이 변하지 않으며 외란이 적은 경우에 유효하다는 단점을 가지고 있다. 자동차는 변속 혹은 부하에 의해 동특성이 쉽게 변동하며, 승차인원, 타이어 재질, 기계적 요소의 마모에 따른 마찰계수의 변동, 도로의 구배 및 기후 상태에 따라서도 각각 크고 작은 정도로 동특성에 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 비선형적인 요소가 대단히 강하고 정확한 모델링이 어려우며 파라미터가 시스템의 출력에 따라 변하여 제어 어려운 자동차를 제어 대상으로하여, 운전자가 가진 운전지식과 기술을 언어적인 제어규칙으로 구성할 수 있고 제어대상의 정량적인 모

델을 필요로 하지 않는 퍼지 제어기 즉, 자동차의 동특성 변화에 대처해야 하는 제어 장치로서 자동차의 드로틀밸브의 개도(開度)와 속도의 정성적인 관계, 다시말해, 제어규칙들로 구성되는 퍼지 제어기를 개발하고자 한다.

구현하고자 하고자 하는 퍼지 로직 컨트롤러는 차량의 지령 속도 및 현재 속도, 그리고 가속도를 입력으로하고 드로틀 밸브 각도를 출력으로 하여 제어 규칙에 따라서 퍼지 추론을 행하고 조작량 (드로틀 밸브 開度)을 계산하게 된다.

본 논문에서는 우선 자동차의 엔진 시스템을 모델링하고 종래의 차량 정속 주행장치의 단점을 개선·보완하기 위하여 정확한 동특성 기술이 어려운 시스템에 유용하고 외란에 강인한 특성을 보이며 상당한 정도로 유연성을 가지는 퍼지 제어기를 설계하였으며, 이를 기본으로하여 이 제어기의 특성을 모의 실험을 통하여 제어효과를 확인하고 그 우수성을 입증하고자 하였다.

2. 모델링

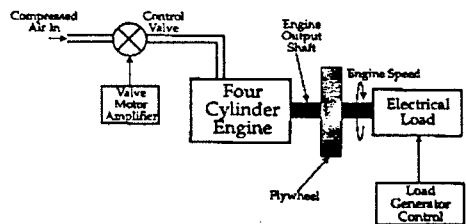


Fig 1. Engine Speed Control Simulator

본 논문에서 사용한 실험장치는 TQ社(英國)의 CE107 엔진 스피드 시뮬레이터, CE120 컨트롤러, 586 PENTIUM 프로세서등이 사용되었다.

그림 1에 본 논문에서 사용된 엔진 시뮬레이터를 간결하게 표현하였으며 압축 공기가 엔진을 일정한 속도로 회전시키도록 되어 있다.

표 1은 CE107 시뮬레이터의 세부사양을 설명하고 있다.

[Table 1] Spec. of the individual CE107 elements

Engine	4 Cylinder Industrial Air Motor, Compressed Air Drive
Cylinder Dimensions (x4)	Bore 8mm, Stroke 19mm, Swept Volume 3.8 cm ³
Supply Valve Motor	12V, 500mA
Speed Transducer	Optical Sensor (LED/Photo Transistor)
Air Supply Regulator	Input 10 bar Max. / 5 bar Min.
Instrumentation	Fully buffered 10 V Unit Input/ Output from Instrumentation Unit.

본 실험장치의 급기밸브의 입력은 전압이 되며 이것은 전기모터를 비례적으로 동작하게 한다.

x 가 밸브위치이고 u 를 입력전압이라 할 때 식 (1)의 관계를 얻을 수 있다.

$$\frac{dx}{dt} = g_m u \quad (1)$$

여기서, g_m 은 밸브 구동 모터의 이득이다. 밸브를 통과한 공기의 압력은 밸브 위치 x 에 비례하며 관계는 식 (2)로 표현된다.

$$P_o = g_v \cdot x \quad (2)$$

밸브의 전체 모델은 식 (1)과 식 (2)를 조합하면 그림 2와 같아진다.

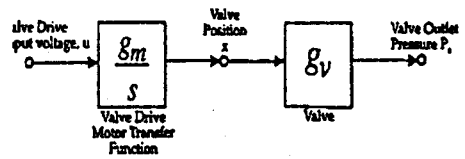


Fig.2 Overall Model of Valve

한편, 밸브로부터 유입된 공기는 압력 P_o 로 엔진 피스톤에 공급되며 압력 P_o 는 크랭크 샤프트에서 엔진 토크 τ_e 로 변환된다. 엔진토크 τ_e 는 식 (3)과 같이 공기의 압력 P_o 와 엔진의 이득 g_e 에 비례한다.

$$\tau_e = g_e P_o \quad (3)$$

$$\omega = \frac{1}{b + Is} \tau_e \quad (4)$$

3. 퍼지 제어기

3.1 퍼지 규칙

본 논문에서 퍼지제어기의 세입력에 대해 드로틀 밸브의 개도를 결정하기 위한 퍼지 제어규칙은 표 2와 같은 형태로 27개의 규칙으로 하였다.

[Table 2] Fuzzy Control Rules

1. If (BS is fast) and (CS is fast) and (ACC is fast) then (THD is close)
2. If (BS is fast) and (CS is fast) and (ACC is good) then (THD is good)
3. If (BS is fast) and (CS is fast) and (ACC is slow) then (THD is good)
⋮
⋮

BS: Setired Speed CS: Current Speed

ACC: Acceration THD: Throttle Degree

3.2 퍼지 추론

본 논문에서 추론방법으로 사용한 Mam-dani의 방법에 의한 퍼지 추론의 결론 C 는 식(5)의 관계에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C &= (A' \text{ and } B') \cdot (A_1 \text{ and } B_1 \rightarrow C_1) \cup (A_2 \text{ and } B_2 \rightarrow C_2) \cup \dots \cup (A_n \text{ and } B_n \rightarrow C_n) \\
 &= (A' \text{ and } B') \cdot R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n \\
 &= [A' \cdot (A_1 \rightarrow C_1) \cup B' \cdot (B_1 \rightarrow C_1)] \cup \dots \cup [A' \cdot (A_n \rightarrow C_n) \cup B' \cdot (B_n \rightarrow C_n)]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\mu_{A_i \cdot B}(x_1, x_2) = \mu_{A_i}(x_1) \wedge \mu_{B_i}(x_2)
 \tag{6}$$

여기서, 기호 ' \wedge '는 Minimum Operator 이다.

i 번째의 퍼지 규칙에 대한 적합도 연산은 식 (7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 \mu_{C_i}(y) &= \max_{x_1} \max_{x_2} [\mu_{A_i}(x_1) \wedge \mu_{B_i}(x_2) \wedge \mu_{C_i}(y) \wedge \mu_{A_i}(x_1^0) \wedge \mu_{B_i}(x_2^0)] \\
 &= \max_{x_1} [\mu_{A_i}(x_1) \wedge \mu_{A_i}(x_1^0)] \wedge \max_{x_2} [\mu_{B_i}(x_2) \wedge \mu_{B_i}(x_2^0)] \wedge \mu_{C_i}(y)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

로 되고, A_i, B_i, C_i 는 퍼지 집합으로 각각의 멤버쉽함수 $\mu_{A_i}(x_1), \mu_{B_i}(x_2), \mu_{C_i}(y)$ 를 갖게 되며 퍼지제어 조각량을 비퍼지 제어 조각량으로 변환시켜주는 비퍼지화 방법으로 본 논문에서는 중력 중심법을 채택하였다.

이것은 추론된 퍼지 집합의 중력 중심을 구하여 그것에 해당하는 제어값을 제어 입력으로 사용하는 방법으로서 입력 x_1 과 x_2 의 비퍼지

값 x_1^0 와 x_2^0 가 주어지면 출력 y 의 추론치 y_0 는 식 (8)과 같다.

$$y_0 = \frac{\sum_i [\mu_{A_i}(x_1^0) \wedge \mu_{B_i}(x_2^0)] \cdot \bar{y}_i}{\sum_i [\mu_{A_i}(x_1^0) \wedge \mu_{B_i}(x_2^0)]}
 \tag{8}$$

여기서, $\bar{y}_i (i=1, 2, \dots, n)$ 는 멤버쉽 함수 $\mu_{C_i}(y)$ 의 중심치이다.

3.3 정속주행 시스템을 위한

퍼지 제어기

본 논문에서 제안한 퍼지 제어기를 이용한 정속 주행 시스템의 전체적인 구성 형태는 그림 3에 제시되어 있다.

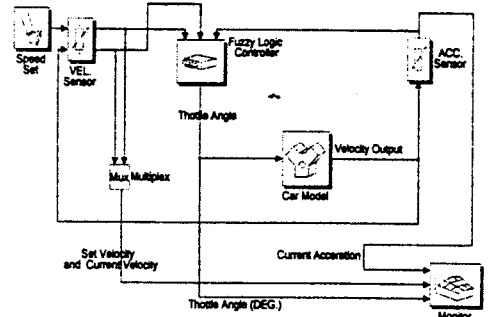
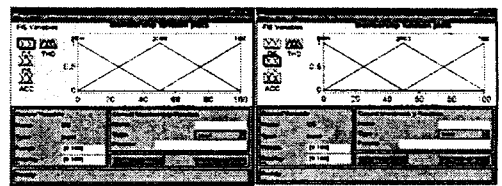


Fig.3 Cruise Control System using FLC

퍼지 제어기의 입력으로는 원하는 속도와 현재 차량의 속도 및 가속도가 입력되며 출력은 차량의 기화연료의 양을 제어하기 위한 드로틀 밸브모터의 전압값이 되고 이 전압에 의해 드로틀의 개도가 결정된다.

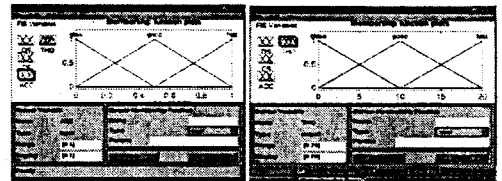
이렇게 함으로써 차량은 보다 나은 승차감, 적절한 가속력을 얻게 됨과 동시에, 다양한 상황에 적절하게 대응하게 된다.

본 논문에서 제안한 퍼지 제어기의 멤버쉽 함수는 그림 5와 같은 삼각함수를 사용하여 추론 및 비퍼지화를 행하게 된다.



(a) Desired Speed

(b) Current Speed



(c) Current Accel.

(d) Throttle Output

Fig. 5 Membership Function of FLC

4. 시뮬레이션 및 실험

4.1 시뮬레이션

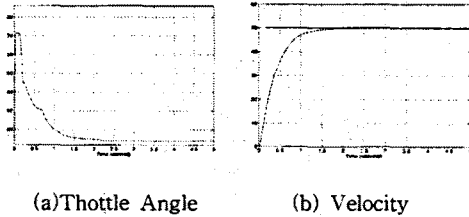


Fig. 6 Step Response at 50Km/h

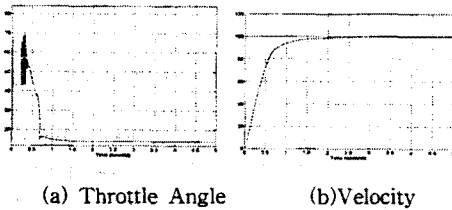


Fig. 7 Step Response at 100Km/h

그림 6은 50km/h를 목표속도로 하였을 때의 드로틀의 개도(Degree)와 목표속도 추종 성능을 나타낸 그래프이며 그림 7은 100km/h를 목표로 한 경우의 드로틀 개도와 목표속도 추종 성능을 나타낸 그래프이다.

본 논문에서는 앞서 기술된 내용으로 모델링을 행하고 퍼지 로직 컨트롤러를 부가한 뒤 목표속도를 50Km/h, 100Km/h로 하여 각각의 드로틀 각도와 목표속도에 따른 차량속도의 추종성능을 관찰하는 방식으로 Mathwork사의 MATLAB 4.2C 버전으로 행하였다. 그림 6(b)와 그림 7(b)에 나타난 바와 같이 퍼지 로직 컨트롤러를 적용한 경우 목표 속도 근방에서 빠르게 수렴하는 것을 알 수 있으며 목표 속도를 50Km/h 정도로 한 경우에는 약간의 편차가 발생하고 있다.

4.2 실험

본 논문에서는 그림 8과 같이 하드웨어를 실현하고 실험을 행하였다.

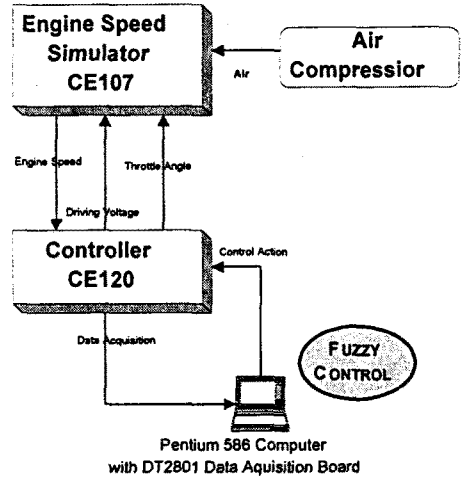


Fig. 8 Hardware Blockdiagram

5. 결론

본 논문에서는 차량을 일정속도로 운행을 가능하도록 하는 정속주행 시스템에의 적용을 목표로 하여 퍼지 제어를 구성하여 그 결과를 고찰하였다. 모의 실험 결과 여전히 잔류 편차가 존재하는 등의 문제가 남아 있으나, 향후, 규칙을 보다 세분화하고 더욱 정밀한 측정에 의해 퍼지 정보 규칙의 정확성을 향상시키고 모의 실험이 아닌 실제 실험을 통하여 드로틀 밸브의 Dead-Band 및 차량의 각종 지연요소를 고려하여 설계가 이루어 진다면, 정속주행 시스템을 위한 장치로서 퍼지 제어가 손색이 없으며 앞으로 널리 범용화 될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] SujeetShenoi, KavehAshenati, "Implementation of a learning Fuzzy Controller" IEEE control system, June, pp.73-180, 1992
- [2] D.cho & J.H.Hedrick, "Automotive Poertrain Modeling for Control", Trans. of ASME, 2.1 Component parts of Vehicle Model