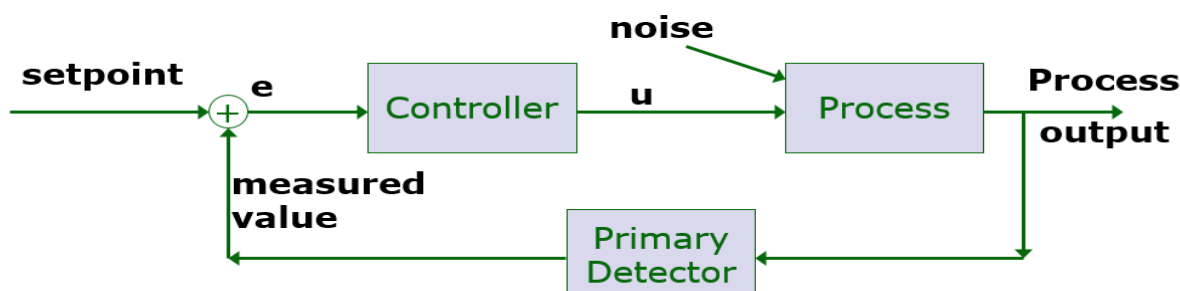


Fuzzy control

A conventional feedback control



- uses the input-output behavior of the process to generate the control actions $e := [e(t), e(t-1), \dots, e(t-r)]$
- based on simplified physical models of process. Unable to control a process which can not be modeled (inherent nonlinearities, time-varying nature of processes, unpredictable environmental disturbances,...)
- needs a solid theoretical and mathematical background
- time-consuming

2

Fuzzy control (cont'd)

A fuzzy controller

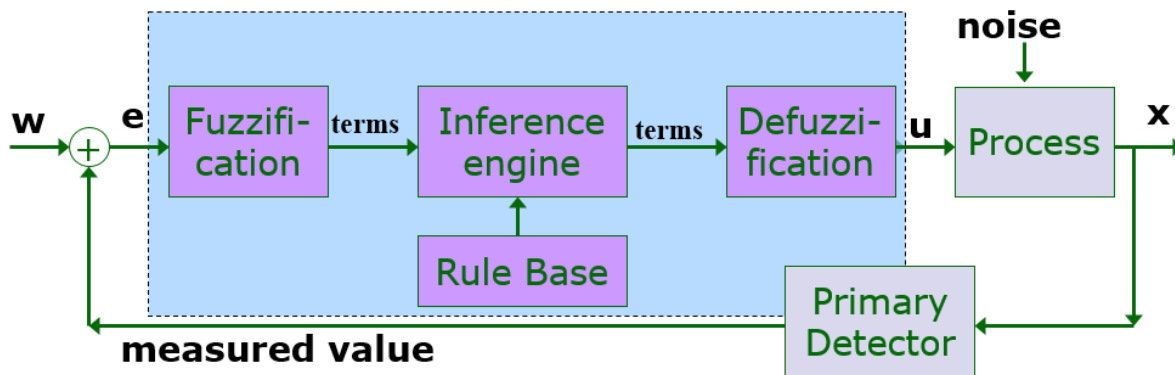
- ☐ Objective :
 - control complex processes by means of human experience.
- ☐ difference between FLC and expert systems:
 - Used for controlling technical processes (unlike expert systems which try to exploit uncertain knowledge acquired from an expert)
- ☐ some interesting points of FLCs:
 - ☐ cheap, easy to design, robust, capable of outperforming conventional control systems
 - ☐ the *compositional rule of inference* can be considered as the spine of all FLC models
 - ☐ uses rules to model the process
 - ☐ such rules links input variables with the control variables by terms of linguistic variables:

if the temperature is slightly too high, increase a bit the heating power

3

Fuzzy control (cont'd)

A general FLC consists of 4 modules:
(fuzzification, rules, inference engine, defuzzification)



for a rule such as

*if the tempreture is **slightly too high**, increase **a bit** the heating power*

“increasing a bit” is translated to a crisp control action by the **defuzzifier**

4

Fuzzy control (cont'd)

Design of fuzzy controllers

-step 1:

after identifying relevant input output variables of the controller, we have to select meaningful **linguistic terms** for each variable and express them by appropriate fuzzy sets (usually fuzzy numbers)

-step2:

introducing a **fuzzification function** for each input variable to express the associated measurement uncertainty

-step3:

formulating the knowledge pertaining to the given control problem in terms of a set of **fuzzy inference rules** (either by eliciting from experienced human operators or by obtaining from empirical data)

-step4:

designing an **inference engine** which must properly combine measurements of input variables with relevant fuzzy information rules

-step5:

selecting a suitable **defuzzification method** to convert each conclusion obtained in terms of a fuzzy set, to a single real number

5

کنترل‌کننده فازی یک نوع سیستم کنترلی است که از مفاهیم منطق فازی برای مدل‌سازی و کنترل سیستم‌ها استفاده می‌کند. این نوع کنترل‌کننده به جای استفاده از منطق دقیق و مقادیر دقیق، از مفاهیم فازی و مقادیر فازی برای تصمیم‌گیری و کنترل استفاده می‌کند. در زیر، مراحل عمومی ساخت یک کنترل‌کننده فازی را شرح می‌دهم:

1. **تعریف سیستم:**

- تعریف و شناخت سیستمی که قصد کنترل آن را دارید.
- مشخص کردن ورودی‌ها (inputs) و خروجی‌ها (outputs) مورد نظر.
- مشخص کردن نواحی عملکردی مختلف سیستم.

2. **فازی‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌ها:**

- تعیین مقادیر فازی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها به جای مقادیر دقیق.
- تعیین توابع عضویت برای توصیف ارتباط بین متغیرهای فازی.

3. **تعیین قوانین فازی:**

- تعریف قوانین کنترلی که مشخص می‌کنند چگونه ورودی‌ها باید به خروجی‌ها تبدیل شوند.
- این قوانین با استفاده از مفاهیم فازی و اصطلاحاتی مانند "اگر ... آنگاه" تعریف می‌شوند.

4. **فازی‌سازی خروجی کنترلر:**

- تعیین مقادیر فازی برای خروجی کنترلر بر اساس قوانین فازی و ورودی‌های فازی.
- این مقادیر فازی باید به مقادیر دقیق تبدیل شوند تا بتوانند به سیستم اعمال شوند.

5. ****ترکیب قوانین فازی:****

- ترکیب قوانین فازی برای تصمیم‌گیری نهایی و تعیین خروجی نهایی کنترلر.

6. ****دفع انحراف:****

- محاسبه انحراف بین خروجی ورودی مطلوب.
- انجام عملیات‌های کنترلی بر اساس این انحراف با استفاده از قوانین فازی.

7. ****بازخورد:****

- ممکن است از یک سیستم بازخورد استفاده شود تا عملکرد کنترلی بهبود یابد.
- اطلاعات بازخورد می‌توانند به عنوان ورودی فازی در نظر گرفته شوند.

8. ****تنظیم پارامترها:****

- بهینه‌سازی پارامترهای مدل فازی بر اساس عملکرد و بازخورد.

9. ****پیاده‌سازی و آزمایش:****

- پیاده‌سازی مدل فازی و اجرای آزمایش‌های عملی برای ارزیابی عملکرد کنترل‌کننده.

10. ****تنظیم نهایی:****

- انجام تنظیمات نهایی بر اساس نتایج آزمایش و بازخورد.

مراحل فوق تا یک مرتبه‌ی عمومی از فرایند ساخت یک کنترل‌کننده فازی هستند و بسته به نوع سیستم و نیازهای خاص، جزئیات و ویژگی‌های بیشتری ممکن است وارد شوند.

سوال 4 :

مرحله Defuzzification یکی از مراحل نهایی در فرآیند کنترل کننده فازی است که مقادیر فازی خروجی را به یک مقدار واقعی و غیرفازی تبدیل می کند. مهم ترین روش های defuzzification عبارتند از:

مرکز ثقل (Centroid یا Center of Gravity)

- **مزایا:**

- به دلیل در نظر گرفتن تمام قسمت های تابع عضویت، معمولاً نتیجه منطقی و متعادل ارائه می دهد.

- بسیار محبوب و گسترده استفاده شده در بسیاری از کاربردهای فازی.

- **معایب:**

- ممکن است محاسباتی سنگین و زمان بر باشد، به خصوص اگر تابع عضویت پیچیده باشد.

- نسبت به تغییرات کوچک در تابع عضویت حساس است.

بیشترین حداکثر (Bisector)

- **مزایا:**

- عادلانه بین دو طرف تابع عضویت تقسیم می کند و می تواند خروجی متعادل فراهم کند.

- **معایب:**

- ممکن است مانند مرکز ثقل محاسبات زیادی را مستلزم شود.

میانگین ماکزیمم ها (Mean of Maximum)

- **مزایا:**

- ساده برای محاسبه و کاربردی در سیستم‌هایی با توابع عضویت ساده.

- وقتی ماکزیم‌های واضح و مشخصی وجود دارد، بسیار کارآمد است.

- **معایب:**

- اگر چندین ماکزیم مساوی وجود داشته باشند، نتیجه ممکن است اندکی بی‌ربط به نظر برسد.

مرکز سطوح (Center of Area یا Center of Sums)

- **مزایا:**

- می‌تواند برای توابع عضویت بسیار ناهموار یا نامتقارن که در آنها مرکز ثقل کارایی بهتری ندارد، مناسب باشد.

- **معایب:**

- مشابه مرکز ثقل، ممکن است محاسبه آن پیچیده و زمان‌بر باشد.

کوچکترین حداقل (Smallest of Maximum)

- **مزایا:**

- ساده و سریع در محاسبه.

- **معایب:**

- ممکن است نتایج خیلی محافظه‌کارانه باشد و در بعضی موارد به خوبی نمایانگر توابع عضویت و قوانین فازی نباشد.

بزرگترین حداقل (Largest of Maximum)

- **مزایا:**

- ساده و سریع در محاسبه.

- **معایب:**

- ممکن است نتایج تهاجمی داشته باشد و بازتاب کننده‌ی خوبی برای توابع عضویت و قوانین فازی نباشد.

انتخاب روش defuzzification مناسب به تابع عضویت، تعداد قوانین فازی و البته کاربرد نهایی سیستم‌های کنترلی بستگی دارد. هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارد و بهینه‌سازی انتخاب بر اساس یک سری تجربیات، آزمایش‌ها و تحقیق و توسعه‌ی دقیق انجام می‌گیرد.

****میانگین وزن دار ماکزیمم‌ها (Weighted Average of Maximums)**:**

- ****مزایا**:**

- نتایج دقیق‌تری نسبت به میانگین معمولی ماکزیمم‌ها ارائه می‌دهد، زیرا وزن‌ها می‌توانند اهمیت نسبی هر ماکزیمم را در نظر بگیرند.

- ****معایب**:**

- نیاز به تعیین وزن‌های دقیق برای هر ماکزیمم دارد، که ممکن است به صورت دقیق قابل تعیین نباشند و نتیجه را تحت تأثیر قرار دهند.

****قطع‌بندی نقطه‌ای (Sugeno-style Defuzzification)**:**

- ****مزایا**:**

- برای سیستم‌هایی با نقاط اوج معین و قوانین ترکیبی که توسط تکنیک‌های سوگنو پیاده‌سازی شده‌اند، مؤثر است.

- ****معایب**:**

- تنها در صورتی کاربردی است که سیستم فازی بر اساس روش سوگنو طراحی شده باشد و نمی‌توان آن را بر روی تمام سیستم‌های فازی به کار برد.

****میانگین وزن دار/سنتز ثقل وزن دار (Weighted Centroid)**:**

- **مزایا**:

- در نظر گرفتن وزن‌ها می‌تواند نتایج را به نحوی تنظیم کند تا بازتاب‌دهنده‌ی اولویت‌ها و اهمیت‌های نسبی مختلف توابع عضویت باشد.

- **معایب**:

- محاسبه‌ی وزن‌ها و تعیین درست آن‌ها می‌تواند پیچیده باشد و نیازمند تنظیمات و تجزیه و تحلیل‌های دقیق است.

- **کوچکترین مربع‌ها (Least Squares)**:

- **مزایا**:

- وقتی مجموعه‌های داده‌های بزرگی وجود دارد که لازم است در defuzzification در نظر گرفته شوند، روش بسیار مفیدی است.

- **معایب**:

- محاسبات مرتبط ممکن است پیچیده و محاسباتی سنگین باشند، به ویژه با داده‌های بزرگ و متغیرهای فراوان.

انتخاب روش defuzzification در نهایت باید مبتنی بر تطابق با موقعیت خاص، تناسب با حافظه و قدرت پردازشی در دسترس، و مهم‌تر از همه، دقت موردنظر خروجی سیستم کنترل‌کننده فازی باشد. در بعضی موارد، ممکن است انجام آزمایش‌های مقدماتی با چندین روش defuzzification برای یافتن بهترین گزینه مورد نیاز باشد.