Universität Dortmund

Wintersemester 2005/06

Fundamente der Computational Intelligence

(Vorlesung)

Prof. Dr. Günter Rudolph
Fachbereich Informatik
Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Kapitel 2: Fuzzy Systeme

Inhalt

- Fuzzy Mengen ☑
- Fuzzy Relationen ☑
- Fuzzy Logik ☑
- Approximatives Schließen (Teil 1) ☑
- Approximatives Schließen (Teil 2) ☑
- Approximatives Schließen (Teil 3) ☑
- Fuzzy Regelung (Teil 1) ☑
- Fuzzy Regelung (Teil 2) ⟶ Heute

Fuzzy Regelung (Teil 2)

Defuzzyfizierung

- Maximummethode
  - nur aktive Regel mit höchstem Erfüllungsgrad wird berücksichtigt
    - → geeignet für Mustererkennung / Klassifikation
    - → Entscheidung für eine Alternative von endlich vielen
  - Auswahl unabhängig von Erfüllungsgrad der Regel (0.05 vs. 0.95)
  - bei Regelung: unstetiger Ausgangsgrößenverlauf (Sprünge)
- Maximummittelwertmethode
  - alle aktive Regeln mit höchstem Erfüllungsgrad werden berücksichtigt
    - → Interpolationen möglich, können aber nicht benutzbar sein
    - → wohl nur sinnvoll bei benachbarten Regeln mit max. Erfüllung
  - Auswahl unabhängig von Erfüllungsgrad der Regel (0.05 vs. 0.95)
  - bei Regelung: unstetiger Ausgangsgrößenverlauf (Sprünge)

Fuzzy Regelung (Teil 2)

Defuzzyfizierung

- Schwerpunktmethode (Center of Gravity, COG)
  - alle aktiven Regeln werden berücksichtigt
    - → aber numerisch aufwändig … …gilt heute nur für HW-Lösung
    - → Ränder können nicht in Ausgabe erscheinen (∃ work-around)
  - bei nur einer aktiven Regel: Auswahl unabh. vom Erfüllungsgrad
  - stetige Verläufe der Ausgangsgrößen
- „Flächenmethode“ (Center of Area, COA)
  - gedacht als Approximation von COG
  - seien $\hat{y}_k$ die Schwerpunkte der Ausgabemengen $B'_k(y)$:

$$y_A = \frac{\sum_k A_k(x_0) \cdot \hat{y}_k}{\sum_k A_k(x_0)}$$

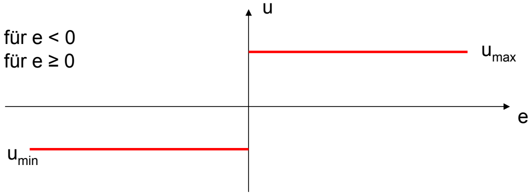
Fuzzy Regelung (Teil 2)

Kennfeldregler

- Regelabweichung e(t) = w(t) – y(t) = Sollwert – Istwert
- für jede mögliche Regelabweichung wird Steuergröße hinterlegt:
    - dargestellt als Kennlinie e vs. u
      (bzw. als Kennfeld bei höheren Dimensionen)

Bsp: Zweipunktregler

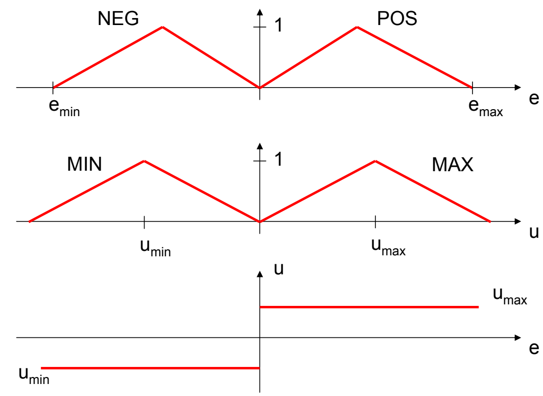
$$u = \begin{cases} u_{min}, & \text{für } e < 0 \\ u_{max}, & \text{für } e \geq 0 \end{cases}$$



Fuzzy Regelung (Teil 2)

Fuzzy-Version des Zweipunktreglers

IF e=NEG THEN u=MIN
IF e=POS THEN u=MAX



Fuzzy Regelung (Teil 2)

Fazit:

- Fuzzy-Regler stellen keinen neuen Reglertyp dar
- Fuzzy-Regler sind Kennfeldregler

  ⇒ typischerweise ist Kennfeld stark nichtlinear

Neu:

- Parametrisierung des Reglers:
    - nicht explizit durch Grafik, Formel, Angabe von Steigung / Knickpunkte
    - sondern implizit in linguistischer Form durch
        - Festlegung der Zugehörigkeitsfunktionen für Eingangs- und Stellgrößen
        - Formulierung der Regelbasis

          ⇒ viele Freiheitsgrade!

Fuzzy Regelung (Teil 2)

TSK-Regler

- Takagi, Sugeno, Kang (ab ca. 1985)
- Keine linguistische Variable für Stellgröße u

IF $e_1 = A_1$ AND $e_2 = A_2$ AND … AND $e_n = A_n$ THEN
$u = p_0 + p_1 \cdot e_1 + \ldots + p_n \cdot e_n$

- $p_i \in \mathbb{R}$ sind Parameter
- keine Defuzzifizierung i.e.S. mehr
- man erhält von Regel k einen Vorschlag $u^{(k)}$ für Stellgröße u
- Aggregierung:

$$u = \frac{\sum_k A^{(k)}(e) \cdot u^{(k)}}{\sum_k A^{(k)}(e)}$$

TSK-Regler

- Beispiel: Auto um die Kurve lenken

M. Sugeno & M. Nishida (1985):
Fuzzy Control of a Model Car,
in Fuzzy Sets and Systems 16:103-113.

TSK-Regler: Aufgaben

1. Bestimmung der linguistischen Terme für Eingangsgrößen
2. Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionen
3. Bestimmung der m · (n + 1) Parameter bei m Regeln

wenn lineare Funktion

Punkte 1 + 2 wie bisher → wie kommt man an die Parameter?

- numerische Optimierung (z.B. evolutionäre Algorithmen)
- „Lernen" an Beispielen durch z.B. neuronale Netze
- Identifikation des Verhaltens eines menschlichen Reglers (protokollieren)

⇒ wenn via Optimierung: was wären Gütekriterien?

Güte von Reglern: Integralkriterien

1. quadratische Regelfläche

$$Q = \int_{t=0}^{\infty} e_t^2 \, dt \quad \to \text{min!}$$

2. betragslineare Regelfläche

$$Q = \int_{t=0}^{\infty} |\, e_t \,| \; dt \quad \to \text{min!}$$

3. zeitgewichtete Regelflächen k-ter Ordnung

$$Q = \int_{t=0}^{\infty} t \cdot |\, e_t \,|^k \; dt \quad \to \text{min!}$$

Güte von Reglern: Kenngrößenkriterien (Beispiele)

1. bleibende Regelabweichung

$$Q = e_B \quad \to \text{min!}$$

2. Abweichung von vorgegebener Überschwingweite Δh*

$$Q = |\, \Delta h - \Delta h^* \,| \quad \to \text{min!}$$

Güte von Reglern: Verlaufskriterien

z.B. Abweichung von vorgegebenem Sollverlauf y*(t)

$$Q = \int_{t=0}^{\infty} |\, y(t) - y^*(t) \,|^k \; dt \quad \to \text{min!}$$