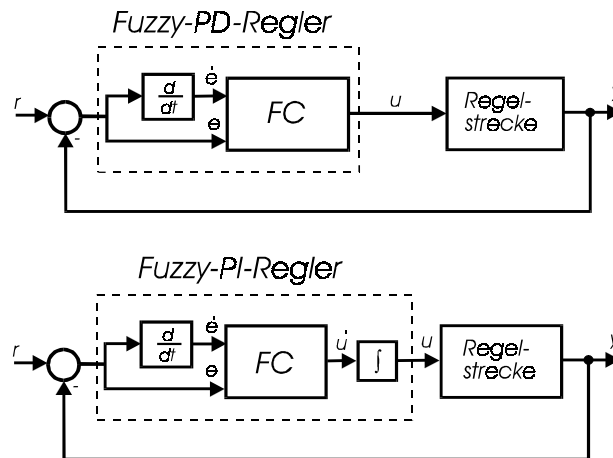


Entwurf einfacher Fuzzy-PID-Regler mit FuzzyPID

Leistungsumfang	9.2
Bildschirmaufbau	9.4
Regelkreis	9.5
Simulation	9.8
Optionen	9.11
Beispieldateien	9.12

Leistungsumfang

Das Programm FuzzyPID ermöglicht den interaktiven Entwurf eines Fuzzy-PI- bzw. Fuzzy-PD-Reglers für einen einschleifigen Standardregelkreis mit linearer Regelstrecke. Der geschlossene Regelkreis kann simuliert werden, wobei alle interessierenden Zeitverläufe grafisch dargestellt werden. FuzzyPID ist besonders geeignet für erste "Gehversuche" im Bereich Fuzzy Control sowie Demonstrations- und Lehrzwecke. Komplexere Fuzzy-Regelkreise sollten mit BORIS entworfen werden.



Einschleifiger Regelkreis mit Fuzzy-PD-Regler (oben) bzw. Fuzzy-PI-Regler (unten)

Bedienung und Konzeption des Programms sind im wesentlichen mit der in Kapitel 7 beschriebenen Fuzzy-Shell FLOP identisch. Folgende zusätzliche Einschränkungen sind zu beachten:

- Die linguistischen Variablen tragen die Bezeichnungen
 - e für die Regelabweichung e ,
 - de/dt für die zeitliche Änderung \dot{e} der Regelabweichung,
 - u für die Stellgröße u (Fuzzy-PD-Regler),

- du/dt für die zeitliche Änderung \dot{u} der Stellgröße (Fuzzy-PI-Regler).

Diese Bezeichnungen sind im Programm festgelegt und können nicht geändert werden. Ebenso wenig können linguistische Variablen gelöscht werden.

- Die Anzahl der linguistischen Terme pro linguistischer Variable ist auf fünf festgelegt und kann nicht geändert werden. Die Terme tragen für alle Variablen die Bezeichnungen

<i>Negative_Big</i>	(Kürzel --),
<i>Negative_Small</i>	(Kürzel -),
<i>Zero</i>	(Kürzel 0),
<i>Positive_Small</i>	(Kürzel +),
<i>Positive_Big</i>	(Kürzel ++).

Auch diese Bezeichnungen können nicht geändert werden.

- Der Regler und damit die Regelbasis muss in jedem Fall zwei Eingangsgrößen, nämlich e und \dot{e} , aufweisen. Möchte man daher einen Fuzzy-P-Regler realisieren, so wählt man zunächst den Fuzzy-PD-Regler aus und sorgt dann dafür, dass die generierte Stellgröße von \dot{e} unabhängig ist. Dies kann man erreichen, indem man in der Regelmatrix zeilenweise gleiche Einträge wählt.
- Alle Regeln werden grundsätzlich mit dem Wert 1 gewichtet. Negierte Teilprämissen sind nicht möglich.

Da die grundsätzlichen Eingabefunktionen wie die Bearbeitung von Fuzzy Sets und das Erstellen der Regelbasis bereits in Kapitel 7 im Detail erläutert wurden, werden wir uns im Rahmen dieses Kapitels lediglich auf die für dieses Programm spezifischen Operationen beschränken.

Bildschirmaufbau

FuzzyPID zeichnet sich dadurch aus, dass sämtliche relevanten Informationen jederzeit im Hauptfenster des Programms dargestellt werden:

- Die Struktur des zugrundeliegenden Regelkreises
- Die Zugehörigkeitsfunktionen für die Ein- und Ausgangsgrößen des Reglers
- Die aktuelle Regelbasis
- Die Simulationsergebnisse

Das nachfolgende Bild zeigt den Bildschirm unmittelbar nach dem Aufruf des Programms. Man erkennt, dass die Regelbasis zunächst leer ist und die Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Terme alle identisch sind. Das Hauptmenü des Programms enthält folgende Optionen, die wir zum größten Teil in den nachfolgenden Abschnitten genauer unter die Lupe nehmen werden:

- DATEI

Ermöglicht die Ein- und Ausgabe von Datensätzen über eine Datei mit der Extension FUZ. Diese Dateien enthalten alle Zugehörigkeitsfunktionen und die Regelbasis und sind vom Format her zum Programm FLOP kompatibel. Somit können Fuzzy Controller, die mit FuzzyPID entworfen wurden, mit FLOP näher analysiert werden. Auch die umgekehrte Vorgehensweise ist denkbar. Die Unterpunkte dieser Menüoption entsprechen i. a. denen im Modul FLOP.

- REGELKREIS

Enthält alle Unterpunkte zur Wahl der Regelstrecke, des Reglertyps, der Führungsgröße und der Simulationsparameter.

- VARIABLEN

Erlaubt die Bearbeitung der linguistischen Variablen und ihrer Terme.

- REGELBASIS

Ermöglicht die Erstellung und Bearbeitung der Regelbasis.

- SIMULATION

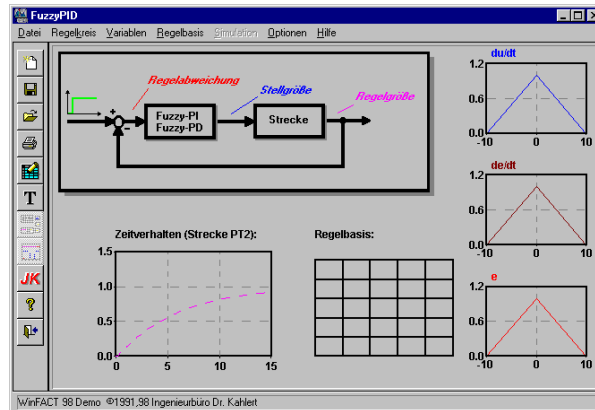
Startet die Simulation. Dieser Menüpunkt ist erst anwählbar, nachdem eine Regelbasis erstellt bzw. aus einer Datei gelesen wurde.

- OPTIONEN

Enthält einige Programmooptionen wie Inferenzmechanismus, Defuzzifizierungsmethode und die während der Simulation angezeigten Zeitverläufe.

- HILFE

Hilfefunktion und Info-Box



Hauptfenster des Programms nach dem Aufruf

Regelkreis

Der dem Programm zugrundeliegende Regelkreis besitzt eine einschleifige Struktur mit Ausgangsgrößenrückführung. Für erste Experimente auf dem Gebiet Fuzzy Control kann die Regelstrecke über die Menüfolge REGEL-

KREIS | REGELSTRECKE aus fünf verschiedenen, fest vorgegebenen Typen ausgewählt werden:

- PT₂-Strecke (nicht schwingfähig)

Dieser Streckentyp weist eine Streckenverstärkung von 1 und zwei reelle Eigenwerte auf. Die zugehörigen Zeitkonstanten liegen bei $T_1 \approx 0.2$ s und $T_2 \approx 5$ s. Die zugehörige Übertragungsfunktion lautet

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 6s + 1}.$$

- PT₂-Strecke (schwingfähig)

Diese Strecke besitzt zwei konjugiert komplexe Eigenwerte und ist somit schwingfähig. Die Dämpfung liegt bei $\zeta = 0.25$, die Eigenfrequenz bei $\omega_n = 1$. Die zugehörige Übertragungsfunktion lautet

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 0.5s + 1}.$$

- PT₁-I-Strecke

Reihenschaltung aus einem PT₁-Glied mit einer Zeitkonstanten von $T = 10$ s und einem Integrierglied. Die zugehörige Übertragungsfunktion lautet

$$G(s) = \frac{0.2}{s(1+10s)}.$$

- PT₁-T_t-Strecke

PT₁-Glied mit Totzeit. Das PT₁-Glied besitzt die Zeitkonstante $T = 5$ s. Die Totzeit beträgt $T_t = 3$ s. Die zugehörige Übertragungsfunktion lautet somit

$$G(s) = \frac{1}{1+5s} e^{-3s}.$$

- PT₂-Strecke (zeitvariant)

Entspricht strukturell der schwingfähigen PT₂-Strecke, weist jedoch einen zeitabhängigen Verstärkungsfaktor auf:

$$G(s) = \frac{K(t)}{s^2 + 0.5s + 1}.$$

Dabei steigt der Verstärkungsfaktor für $0 \leq t \leq 5$ zunächst linear von 1 auf 2 und fällt danach für $5 \leq t \leq 10$ wieder linear auf 1 ab:

$$K(t) = \begin{cases} 1 + t/5 & \text{für } 0 \leq t \leq 5 \\ 2 - (t-5)/5 & \text{für } 5 < t \leq 10 \\ 1 & \text{für } t > 10 \end{cases}$$

Eine Modifikation der Streckenparameter ist bei diesen Streckentypen nicht möglich.

Die letzten drei Optionen im Untermenü REGELKREIS | REGELSTRECKE erlauben darüber hinaus die Vorgabe einer beliebigen linearen Regelstrecke in Form einer Übertragungsfunktion. Diese kann über Tastatur oder Datei eingelesen und ebenso wieder in einer Datei vom Typ UFK abgelegt werden.

Als Reglertyp sind Fuzzy-PI- und Fuzzy-PD-Regler zugelassen. Eingangsgrößen des Reglers sind jeweils die Regelabweichung e und ihre zeitliche Änderung \dot{e} , Ausgangsgröße ist im Falle des PI-Reglers die zeitliche Änderung \dot{u} der Stellgröße, beim PD-Regler die Stellgröße u selbst. Die Auswahl des Reglertyps wird über die Menüfolge REGELKREIS | REGLERTYP PI bzw. REGELKREIS | REGLERTYP PD vorgenommen.

Über die Menüfolge REGELKREIS | SIMULATIONSPARAMETER ... oder die Tastenkombination <Strg><P> kann der Eingabedialog für die Simulationsparameter erreicht werden. Dieser ermöglicht

- die Eingabe der Simulationsdauer,
- die Eingabe der Simulationsschrittzahl,
- die Beeinflussung der Simulationsgeschwindigkeit.

Eine Verringerung der Simulationsgeschwindigkeit kann beispielsweise dann sinnvoll sein, wenn man bei einem sehr schnellen Rechner den Ablauf der Simulation genauer studieren möchte.

Die Führungsgröße $r(t)$ für den Regelkreis kann aus drei verschiedenen Testsignalen ausgewählt werden:

- einer sprungförmigen Anregung mit der Amplitude 1,
- einer rampenförmigen Anregung mit der Steigung

$$\frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{2}{T_{\text{Ende}}}$$

und einer maximalen Amplitude von 1, wobei T_{Ende} die Simulationsdauer bezeichnet,

- einem Doppelimpuls der Form

$$r(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 < t \leq T_{\text{Ende}} / 3 \\ -1 & \text{für } T_{\text{Ende}} / 3 < t \leq 2T_{\text{Ende}} / 3 \\ 0 & \text{für } t > 2T_{\text{Ende}} / 3 \end{cases}$$



Eingabedialog für Simulationsparameter

Simulation

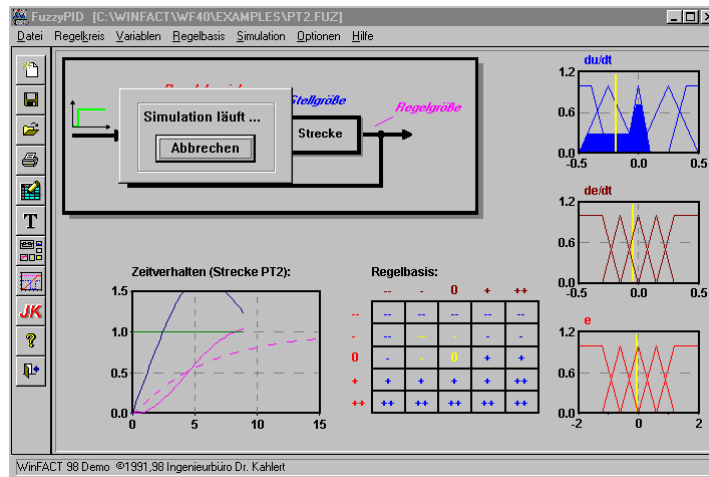
Nachdem Zugehörigkeitsfunktionen und Regelbasis erstellt bzw. aus einer Datei gelesen wurden, kann die Simulation gestartet werden. Dazu stehen zwei unterschiedliche Optionen zur Auswahl, die sich im wesentlichen in der Art der während der Simulation dargestellten Daten unterscheiden.



Über die Menüfolge SIMULATION | ALLER ANZEIGEN oder die Tastenkombination <Strg><S> wird ein Simulationslauf mit Anzeige sämtlicher relevanter Größen gestartet. Der Ablauf der Simulation kann im Hauptfenster des Programms unmittelbar verfolgt werden:

- In den Diagrammen mit den Zugehörigkeitsfunktionen für die Regler-ein- und -ausgangsgrößen am rechten Bildrand werden die aktuellen Werte in Form eines gelben Balkens angezeigt. Das obere Diagramm für die Stellgröße bzw. Stellgrößenänderung (je nach gewähltem Reglertyp) zeigt zusätzlich die aktiven Ausgangs-Fuzzy-Mengen und ihren Erfüllungsgrad an (blau schraffiert).
- In der Regelbasis werden die gerade aktiven Regeln gelb hervorgehoben.
- Das Diagramm in der linken unteren Bildschirmecke stellt schließlich den zeitlichen Verlauf aller Größen dar, wobei sich einzelne Größen über die Hauptmenüoption QPTIONEN ein- bzw. ausschalten lassen:
 - Das Zeitverhalten der Strecke allein, d. h. ohne Regler und Rückführung (gestrichelte violette Kurve)
 - Die Führungsgröße $r(t)$ des Regelkreises (durchgezogene grüne Kurve)
 - Die Regelgröße, d. h. Ausgangsgröße $y(t)$ des Regelkreises (durchgezogene violette Kurve)
 - Die Regelabweichung $e(t)$ (durchgezogene hellrote Kurve)
 - Die zeitliche Änderung $\dot{e}(t)$ der Regelabweichung (durchgezogene rote Kurve)
 - Die Stellgröße $u(t)$ (durchgezogene dunkelblaue Kurve)
 - Die zeitliche Änderung $\dot{u}(t)$ der Stellgröße (durchgezogene hellblaue Kurve). Diese kann nur im Falle eines PI-Reglers angezeigt werden.

Die Simulation kann durch Betätigung der Schaltfläche *Abbrechen* jederzeit abgebrochen werden.



Hauptfenster des Programms während der Simulation



Ist nur das Zeitverhalten des Regelkreises von Interesse, so ist es zweckmäßiger, die Simulation über die Menüfolge SIMULATION | ZEITVERHALTEN bzw. die Tastenkombination <Strg><V> zu starten. Wir gelangen dann in das Dialogfenster wie im folgenden Bild. Hier steht uns für die Darstellung des Zeitverhaltens ein wesentlich größeres Ausgabefenster zur Verfügung und wir haben zudem die Möglichkeit, die Skalierung der Achsen zu beeinflussen.¹ Während das Streckenverhalten unmittelbar nach Aufruf des Dialogfensters ausgegeben wird, können wir die Simulation des Regelkreises über die Schaltfläche Start anwerfen. Da die zeitaufwendige Darstellung der Fuzzy Sets und der Regelbasis bei dieser Simulationsart entfällt, läuft der gesamte Vorgang erheblich schneller ab.

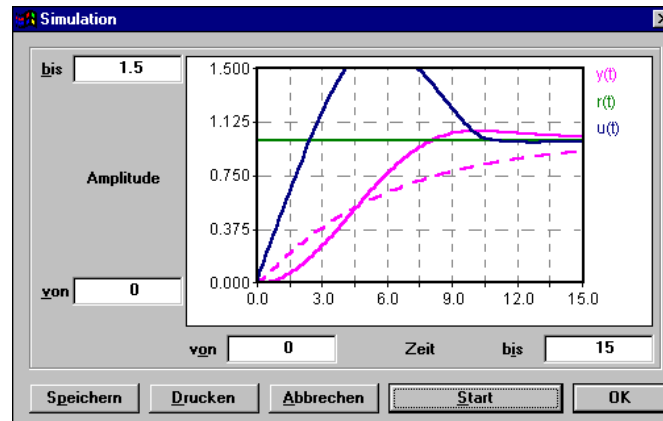
Da die zeitliche Änderung \dot{e} der Regelabweichung während der Simulation bei sprungförmigen Führungsgrößenänderungen sehr große Werte annehmen kann, wird sie automatisch auf den vorgegebenen Wertebereich der linguistischen Variable beschränkt.

Das Simulationsdialogfenster enthält zusätzlich folgende Optionen, die über die Schaltflächen am unteren Fensterrand erreichbar sind:

- Über Drucken können die Simulationsergebnisse auf dem Standarddrucker ausgegeben werden.

¹ Man beachte, dass eine Umskalierung der Zeitachse lediglich den dargestellten Ausschnitt, nicht aber die Simulationsdauer (Anfangs- bzw. Endzeit der Simulation) beeinflusst!

- Über *Speichern* können alle simulierten Größen jeweils in einer Datei vom Typ SIM abgelegt werden. Dazu wird nach Betätigung der Schaltfläche ein Popup-Menü angeboten, aus dem die zu speichernde Größe ausgewählt werden kann.

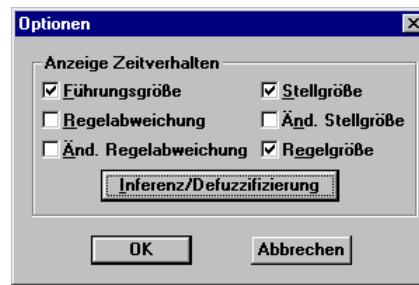


Dialogfenster zur Simulation des Zeitverhaltens

Optionen

Der Menüpunkt OPTIONEN des Hauptmenüs führt in einen Eingabedialog, der die Änderung folgender Programmparameter ermöglicht:

- Der während der Simulation im Diagramm *Zeitverhalten* dargestellten Größen
- Des Inferenzschemas und der Defuzzifizierungsmethode
- Des Systemverhaltens für den Fall, dass keine der definierten Regeln aktiv ist



Programmoptionen

Beispieldateien



Das Beispielverzeichnis enthält für jeden der möglichen Regelstreckentypen einen Beispieldatensatz mit einem für sprungförmige Führungsgrößen bereits einigermaßen zufriedenstellend arbeitenden Fuzzy Controller. Diese Datensätze können als Ausgangsbasis für eigene Experimente benutzt werden. Die entsprechenden Dateien tragen die Bezeichnungen

PT2.FUZ	Fuzzy-PI-Regler für PT_2 -Strecke (nicht schwingfähig),
PT2S.FUZ	Fuzzy-PI-Regler für PT_2 -Strecke (schwingfähig),
PT1I.FUZ	Fuzzy-PD-Regler für PT_1 -I-Strecke,
PT1TT.FUZ	Fuzzy-PI-Regler für PT_1 - T_1 -Strecke,
PT2ZV.FUZ	Fuzzy-PI-Regler für PT_2 -Strecke (zeitvariant).

Der jeweilige Reglertyp (PI bzw. PD) wird beim Einlesen der Datei anhand der Bezeichnungen für die Eingangsgrößen automatisch erkannt und vom Programm voreingestellt.