

Gleitende Genauigkeit durch Fuzzy-Logik

Teil 3

In den unscharfen Übergängen liegt der Gewinn

In den Teilen 1 und 2 dieser Artikelserie haben wir uns mit beispielhaften Anwendungen, der Entwicklung der Theorie und den Grundlagen befaßt. In diesem dritten Teil wollen wir im ersten Abschnitt das erarbeitete Wissen über die Fuzzy-Logik vertiefen und uns anschließend dem Fuzzy-Simulationsprogramm widmen.

Zusammenfassung der Grundlagen

Grundsätzlich besteht ein Fuzzy-Regler aus einer bestimmten Anzahl von linguistischen (sprachlichen) Eingangsvariablen, einer Regelbasis und einer linguistischen Ausgangsvariable.

Linguistische Eingangsvariablen

Die linguistischen Variablen werden in umgangssprachlich definierte Bereiche unterteilt. In der Fuzzy-Theorie bezeichnet man diese Bereiche als Zugehörigkeitsfunktionen, Klassen, Fuzzy-Sets oder Membership Functions.

Den einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen werden je nach Problemstellung bestimmte Bezeichnungen zugewiesen. Dies könnte bei einer linguistischen Eingangsvariable, die sich auf die Temperatur bezieht und drei Zugehörigkeitsfunktionen besitzt, folgendermaßen lauten:

Zugehörigkeitsfunktion 1 → kalt;

Zugehörigkeitsfunktion 2 → angenehm;

Zugehörigkeitsfunktion 3 → warm.

Die Anzahl der Zugehörigkeitsfunktionen pro linguistischer Variable wird dadurch bestimmt, wie genau der jeweilige Bereich beschrieben werden muß.

Soll eine sich bewegende Kugel an einem bestimmten Punkt zum Stillstand gebracht werden, so reicht es in den meisten Fällen nicht aus, zwei Zugehörigkeitsfunktionen zu definieren, wobei die eine besagt, daß die Kugel im Bereich des Zielpunktes ist und die andere, daß sie noch weit entfernt ist. Eine wesentlich bessere Beschreibung der Lage der Kugel erhält man, wenn mindestens 3 Zugehörigkeitsfunktionen definiert werden, die wie folgt lauten könnten:

Zugehörigkeitsfunktion 1 → die Kugel ist im Bereich des Zielpunktes;

Zugehörigkeitsfunktion 2 → die Kugel ist in der Nähe des Zielpunktes;

Zugehörigkeitsfunktion 3 → die Kugel ist weit vom Zielpunkt entfernt.

Wie wichtig eine geeignete Wahl der Zugehörigkeitsfunktionen für die einzelnen linguistischen Variablen ist, wird bei der Erstellung der Regelbasis deutlich, denn alle Regeln basieren auf den zuvor festgelegten Zugehörigkeitsfunktionen.

Regelbasis

In der Regelbasis wird das menschliche Wissen über den Prozeß in Form von Regeln hinterlegt. Diese Regeln bestehen aus einem „WENN“- und einem „DANN“-Teil. Der erste Teil bezieht sich auf die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Eingangsvariablen, die untereinander zumeist mit „UND“ verknüpft werden.

Im zweiten Teil wird die Zugehörigkeitsfunktion der linguistischen Ausgangsvariable aufgrund der Verknüpfung im „WENN“-Teil festgelegt.

Verallgemeinert kann eine Regel wie folgt geschrieben werden: „WENN“ Zugehörigkeitsfunktion x_A der linguistischen Eingangsvariable A „UND“ Zugehörigkeitsfunktion x_B der linguistischen Eingangsvariable B, „DANN“ Zugehörigkeitsfunktion x_C der linguistischen Ausgangsvariable C. Bei dem zuvor beschriebenen Kugelmodell könnte ein Ausschnitt aus der Regelbasis wie folgt lauten:

- „WENN“ die Kugel weit vom Punkt entfernt ist „UND“ sich nicht bewegt, „DANN“ soll die Kugel stark in Richtung des Punktes beschleunigt werden.
- „WENN“ die Kugel in der Nähe des Punktes ist „UND“ sich schnell dem Punkt nähert, „DANN“ soll die Kugel abgebremst werden.
-

Der Erfülltheitsgrad oder Wahrheitsgrad einer UND-Regel wird vom kleinsten Erfülltheitsgrad der Zugehörigkeitsfunktionen im „WENN“-Teil der Regel bestimmt. Eine „UND“-Regel mit zwei linguistischen Eingangsvariablen ist nur erfüllt, wenn beide Zugehörigkeitsfunktionen einen Erfülltheitsgrad größer Null aufweisen.

Hat die Zugehörigkeitsfunktion der ersten linguistischen Eingangsvariable einen Erfülltheitsgrad von 0,7 (Bereich: 0 bis 1) und die Zugehörigkeitsfunktion der zweiten linguistischen Eingangsvariable einen Erfülltheitsgrad von 0,2, so ist die Regel zu 0,2 erfüllt.

Betrachtet man diese Vorgehensweise etwas genauer, so ist zu erkennen, daß eine UND-Regel nur zu 100% erfüllt ist, wenn alle Bedingungen im „WENN“-Teil auch zu 100% erfüllt sind.

Anstelle von UND-Regeln ist es auch möglich, ODER-Regeln zu verwenden. Der Erfülltheitsgrad einer solchen Regel richtet sich nach dem höchsten Erfülltheitsgrad der Zugehörigkeitsfunktion im „WENN“-Teil. Dies bedeutet, daß eine „ODER“-Regel mit zwei linguistischen Eingangsvariablen schon erfüllt ist, wenn eine der beiden Zugehörigkeitsfunktion einen Erfülltheitsgrad größer Null aufweist.

Besitzt die Zugehörigkeitsfunktion der ersten linguistischen Eingangsvariable einen Erfülltheitsgrad von 0,7 (Bereich: 0 bis 1) und die Zugehörigkeitsfunktion der zweiten linguistischen Eingangsvariable einen Erfülltheitsgrad von 0,2, so ist die Regel zu 0,7 erfüllt.

Diese Eigenschaft ist bei der Erstellung von Regeln besonders zu berücksichtigen, da im Gegensatz zu UND-Regeln, die nur lokal wirken, eine ODER-Regel schon erfüllt ist, wenn nur eine Bedingung des „WENN“-Teils zutrifft. In der Praxis spielen diese Regeln allerdings nur eine untergeordnete Rolle.

Linguistische Ausgangsvariable

Zur Bestimmung des scharfen Ausgangswertes der linguistischen Ausgangsvariablen muß zum einen die Inferenz-Methode und zum anderen die Defuzzifizierungs-Strategie festgelegt werden.

Bei der Inferenz-Methode verwenden wir die MAX-MIN-Inferenz. Sie besagt, daß die Fläche einer Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktion von ihrem Wahrheitsgrad,

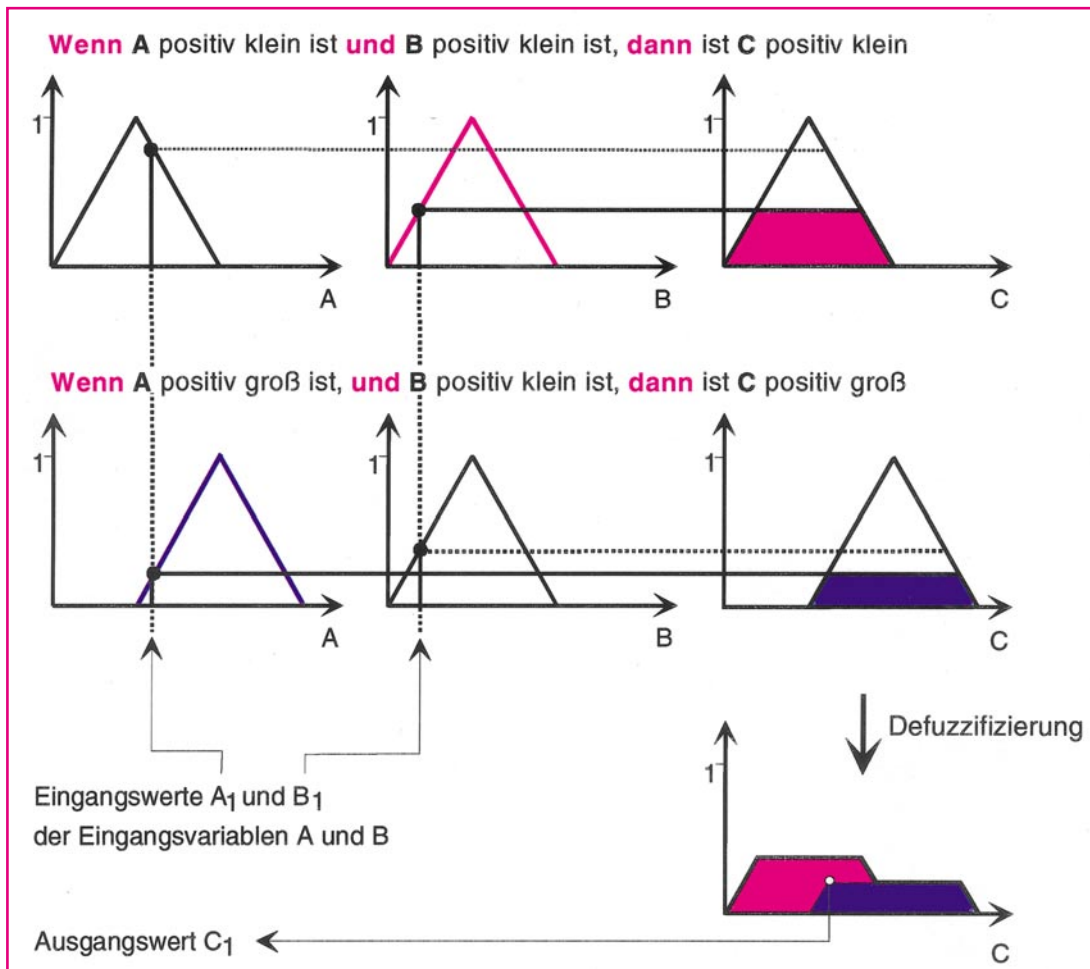


Bild 1: Darstellung eines einfachen Fuzzy-Reglers mit zwei Eingangsgrößen, einer Ausgangsgröße und zwei UND-Regeln; ausgewertet nach der MAX-MIN-Inferenz und der Flächenschwerpunktmethode

der sich aus den Regeln ergibt, begrenzt wird („Minimum“). Die so erhaltenen Einzelflächen werden zu einer Gesamtfläche (unscharfe Gesamtmenge) zusammengefaßt („Maximum“).

Besitzen mehrere Regeln die gleiche Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktion, wird für die weitere Auswertung nur die Regel mit dem größten Wahrheitsgrad (Erfülltheitsgrad) verwendet.

Zur Defuzzifizierung wird die Schwerpunkt-Methode herangezogen. Mit dieser Methode wird der Wert des Flächenschwerpunkts auf der horizontalen Achse bestimmt, der zugleich der scharfe Fuzzy-Ausgangswert ist. Die hierfür zugrunde gelegte Fläche ergibt sich aus der Inferenz-Methode, die den Erfülltheitsgrad der Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktionen festlegt und der Form der Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktionen.

Das Fuzzy-Simulationsprogramm

Mit Hilfe des hier vorgestellten Fuzzy-Simulationsprogramms können Sie auf einfache Weise schnell und effizient am Computerbildschirm Fuzzy-Regelungen entwickeln. Die so erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten können später bei regelungstechnischen Problemstellungen an-

gewendet werden, wobei auch mikroprozessorgesteuerte Hardwarelösungen möglich sind.

Aufbau der Fuzzy-Simulation

Das Programm eröffnet dem Anwender, am Beispiel von 3 anschaulichen physikalischen Modellen, Fuzzy-Regelungen zu entwerfen, zu verändern und zu optimieren. Mit der nachgeschalteten Simulation kann überprüft werden, ob der aufgestellte Regelansatz die gestellten Erwartungen erfüllt. Über die wichtigsten Eigenschaften des Programms gibt die folgende Aufstellung einen Überblick:

- Simulation der vom Anwender entwickelten Fuzzy-Regelung mit realistischer Darstellung des Simulations-Modells und des Regelungsverlaufs mittels bewegter Farbgrafiken.
- Grafische Darstellung des Simulationsverlaufes über der Zeit mit Zoom-Funktion (Datenaufzeichnung).
- Kontrolle der Regelung durch Verändern der Eingangswerte unter Beobachtung des Ausgangswertes.
- Aktive Regeln werden sowohl bei der Simulation als auch bei der Regelungskontrolle mittels einer inversen Darstellung hervorgehoben.

- Das Eingeben, Ändern oder Löschen von Regeln ist zu jeder Zeit möglich.
- Bis zu 122 Regeln und bis zu 11 Zugehörigkeitsfunktionen pro linguistischer Variable können in einer Regelung verwendet werden.
- Es können UND- sowie ODER-Regeln erstellt und beliebig kombiniert werden.
- Die Zahl der Zugehörigkeitsfunktionen für jede linguistische Variable ist frei wählbar.
- Automatisch wird durch die Eingabe der kleinsten oder größten Ausgangs-Zugehörigkeitsfunktion die Zahl der Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistische Ausgangsvariable bestimmt (Symmetrie).
- Normierte Zugehörigkeitsfunktionen können für alle oder jede einzelne linguistische Variable automatisch erstellt werden.
- Alle Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen können einzeln selektiert und geändert werden (zur Optimierung).
- Änderung der Parameter des jeweiligen physikalischen Modells und der zugehörigen Grundbereiche.
- Laden von gespeicherten Regelungen oder Erstellen von neuen Regelungen.

- Speichern der entwickelten bzw. veränderten Regelung unter gleichem oder anderem Namen.
- Online-Hilfesystem, das zu fast allen Menüpunkten eine Hilfestellung gibt.

Die von dem Fuzzy-Simulationsprogramm für jede linguistische Variable verwendeten Grundbereiche ermöglichen eine verallgemeinerte und somit systemunabhängige Erstellung der Zugehörigkeitsfunktionen.

Alle Bereiche beziehen sich auf $\pm 100\%$ sowohl für die linguistischen Eingangsvariablen als auch für die linguistische Ausgangsvariable. Der Wert des Grundbereichs gibt an, wie groß der systemspezifische Wert der linguistischen Variable bei $+100\%$ ist.

Wird zum Beispiel einer linguistischen Variablen, die die Position einer Kugel beinhaltet (siehe Kugel-Modell), ein Grundbereich von 0,5 Meter zugewiesen, so befindet sich die Kugel bei 50% an der Position 0,25 Meter. Stellt sich bei der Erprobung des Systems heraus, daß die Position der Kugel in einem größeren oder kleineren Bereich betrachtet werden muß, ist lediglich der Wert des Grundbereichs zu ändern, ohne dabei die einzelnen Zugehörigkeitsfunktionen verschieben zu müssen.

Physikalische Simulations-Modelle
a) Mobil-Simulation

Die Bewegung eines Mobils auf ebenem Gelände oder einer schiefen Ebene ebenso

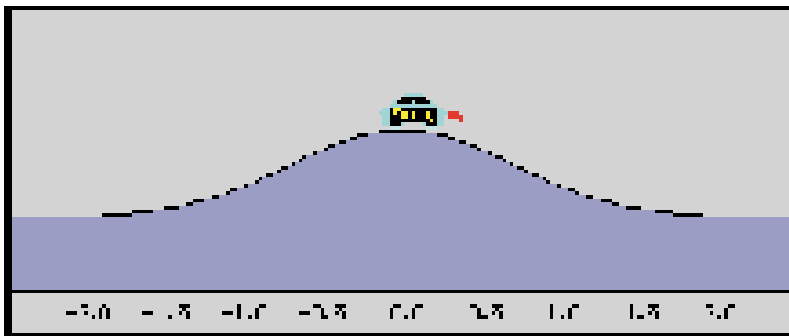


Bild 2: Grafische Darstellung der Mobilsimulation

wie auf einer Bergkuppe läßt sich in diesem Modell für verschiedene Startpositionen und Startgeschwindigkeiten nachempfinden. Zum Beispiel könnte die Aufgabe der Fuzzy-Regelung sein, von einem bestimmten Startpunkt aus das Fahrzeug in möglichst kurzer Zeit zum Zielpunkt zu steuern, ohne dabei diesen Punkt zu überfahren!

Die Eingangsvariablen der Regelung bestehen aus der Geschwindigkeit und der Position des Mobils. Die Ausgangsvariable (Steuergröße) ist die Kraft, die zusam-

men mit den vom Simulations-Modell hervorgerufenen Kräften auf das Mobil wirkt.

b) Kugel-Simulation

Dieses Modell ermöglicht die Nachbildung einer Wippe mit variablem Winkel, auf der sich eine freibewegliche Kugel befindet. Eine Regelung könnte beispielsweise den Winkel der Wippe so steuern, daß die Kugel von einer gewählten Startposition aus mit möglichst hoher Geschwindigkeit zum Zielpunkt - dem Mittelpunkt der Wippe - rollt, ohne dabei allzu stark überzuschwingen.

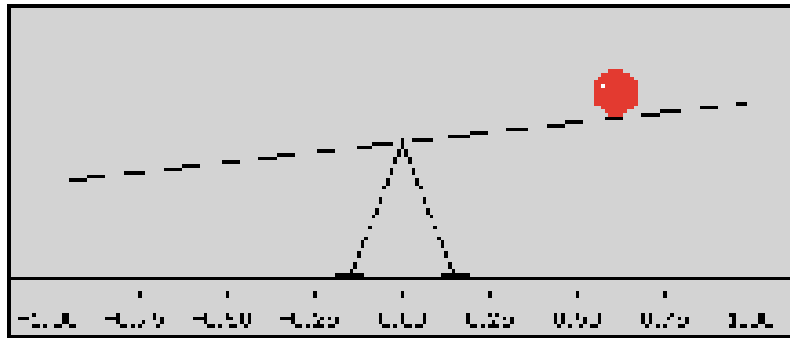


Bild 3: Grafische Darstellung der Kugel-Simulation

Die Eingangsgrößen der Regelung bestehen aus der Geschwindigkeit und der Position der Kugel. Die Ausgangsgröße (Steuergröße) ist der Winkel der Wippe.

c) Pendel-Simulation

Das Modell bildet ein inverses Pendel

nach, das einen Bewegungsbereich von ± 81 Grad hat. Die Aufgabe einer Regelung könnte zum Beispiel lauten, von einer zuvor gewählten Startposition innerhalb einer kurzen Zeit das Pendel so zu steuern, daß es ohne wesentliches Überschwingen senkrecht zum Stehen kommt (Winkel = 0°). Weiterhin besteht die Möglichkeit, das Pendel nicht bei 0° , sondern z. B. bei -60° durch die Regelung zu halten (hierfür ist eine Eingabe von Offsetwerten im Programm vorgesehen).

Die Eingangsvariablen der Regelung bestehen aus der Winkelgeschwindigkeit und

dem Drehwinkel des Pendels. Die Ausgangsvariable (Steuergröße) ist die Kraft, die - zusammen mit den modellbedingten Kräften - auf das Pendel wirkt.

Bei der Kugel- und Pendel-Simulation ist es zusätzlich möglich, einen Störimpuls auf das Objekt zu geben. Dieser wird grafisch als Balken dargestellt, der auf das Pendel beziehungsweise die Kugel während der Simulation stößt. Die Stärke des Stoßes kann durch die Vorgabe der Impulskraft bestimmt werden.

Nachdem wir uns mit dem grundsätzlichen Programmaufbau befaßt haben, folgt im vierten und letzten Artikel dieser Reihe die Beschreibung der programmtechnischen Realisierung mit einer Beispiel-Regelung, einschließlich Optimierung. **ELV**

Autoren: Tilo Könnecke, Detlef Puchert, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

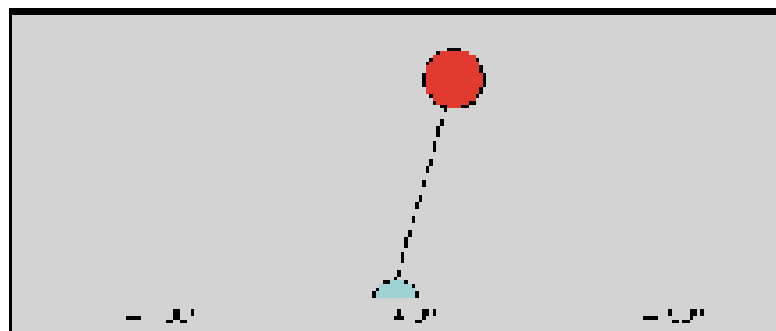


Bild 4: Grafische Darstellung der Pendelsimulation