

Fuzzy-Logic

Einleitung

In den letzten Jahren kommt die Theorie der unscharfen Mengen, auch Fuzzy Sets genannt, immer mehr Bedeutung zu. Das nun folgende Referat soll einen Überblick über die wesentlichen Unterschiede von herkömmlichen Mengen und von Fuzzy-Mengen geben. Fuzzy ist englisch und bedeutet fusselig oder faserig. Damit wird in erster Linie eine Logik bezeichnet, die mehr als die Kategorien richtig und falsch beinhaltet.

Fuzzy Logic wird jedoch auch zunehmend in Gegenständen des täglichen Lebens eingesetzt, wie Staubsauger, Waschmaschinen oder Videokameras. Der Erfinder der Fuzzy-Theorie war ein gewisser Professor Lotfi A. Zadeh aus Berkeley, California. Vor etwa 30 Jahren schrieb er bereits erste Beiträge, allerdings blieb ihm die wirtschaftliche Anerkennung versagt.

Erst die Japaner griffen seine Ideen auf und verwandelten sie in gebrauchsfertige Lösungen. Diese Tatsache liegt sicher darin begründet, daß die Japaner z.B. die Bedeutung des Wortes „JA“ irgendwo zwischen „JA“ und „NEIN“ ansiedeln können, also die perfekte Fuzzysierung des Wortes „JA“ ansich.

Die Japaner haben die Fuzzy-Technologie serienreif gemacht - und das vor allem durch die Entwicklung von Fuzzy-Controllern, die hardwaremäßig bereits alle notwendigen Operationen programmiert haben. Das ist erforderlich, um ohne großen Softwareaufwand ein kompaktes fuzzy-gesteuertes Gerät zu bauen.

Theorie der unscharfen Mengen

Uns allen ist noch die Mengenlehre aus früheren Jahren bekannt. Wenn wir auch schon vieles vergessen haben, so wissen wir zumindest noch, daß in diesem System eine Menge genau beschrieben ist und man anhand dieser Beschreibung sagen kann, ob ein Element in diese Menge gehört oder nicht. Eine Definition dazu soll uns dies vor Augen führen: Eine Menge M ist die Zusammenfassung von wohlbestimmten und wohlunterschiedenen Objekten unserer Anschauung oder unseres Denkens zu einem Ganzen.

Diese etwas trockene Definition läßt sich nun so erklären: Wohlbestimmte Objekte sind nur jene, für welche zweifelsfrei feststeht, ob sie zu der Menge gehören oder nicht. Wohlunterschieden sind die Objekte dann, wenn man entscheiden kann, ob sie verschieden sind oder nicht. Im übrigen wird hier davon ausgegangen, daß kein Element einer Menge doppelt vorkommt, ein wesentlicher Aspekt der Fuzzy-Theorie. Jetzt aber endgültig zu den unscharfen Mengen. Im Gegensatz zu einer scharfen Menge, wie sie in der Mengenlehre angenommen wird, gibt es in der unscharfen Menge unendlich viele Elemente oder Objekte. Es gibt ein oder mehrere Elemente, die voll und ganz, also zu 100%, zu dieser Menge gehören.

Dann gibt es welche die mehr oder weniger zu dieser Menge gehören, und welche die überhaupt nicht hineinpassen. Woher weiß man nun, welches Element zur Menge gehört, und vor allem wie stark, und welches nicht hineingehört? Dazu besitzt jede unscharfe Menge eine Zugehörigkeitsfunktion, die für jedes beliebige Element einen Wert zwischen 0 und 1 liefert. Dies ist im Prinzip ein Prozentwert.

Begriffe aus der Fuzzy-Welt

Grundsätzlich unterscheiden wir zwischen folgenden 5 Grundbegriffen:

- Linguistische Variablen
Sind vom Menschen definierte Mengen ohne genaue Abgrenzung der Bereiche, z.B. warm, kalt, hell, dunkel, langsam, schnell
- Fuzzy Operatoren
Sind jene Begriffe von UND, Oder bzw. NICHT Werten, die es erlauben die menschliche Sprache, z.B. ziemlich warm, sehr kalt, zum Zwecke der Erfassung in Form von Regeln darzustellen.
- Produktionsregeln
Stellen die menschlichen Schlußfolgerungen dar, z.B. wenn sehr warm dann schließe ich Ventil von Heizung.
- Linguistische Approximationen
Übersetzen der Werte in technisch verwendbare Größen - Fuzzyfizierung und Defuzzyfizierung.
- Unschärfe der Präzision
Die Fuzzy-Logik stellt schon allein zu ihrer Bezeichnung (unscharfe Logik) einen Widerspruch dar. Die Logik gilt als eine der genauesten Wissenschaften und ihre Anwendung in der modernen Mathematik ist die Grundlage des Computers. Im menschlichen Denken gibt es viele unscharfe Begriffe, z.B. große Leute, viel Geld, usw. Eine genaue Definition dieser Begriffe (linguistische Variablen) liegt nicht vor. Die Fuzzy-Logik erweitert daher die Begriffe Wahr und Falsch der klassischen Logik auf ziemlich Wahr bzw. Recht falsch.

Anschließend möchte ich nun die fünf Grundbegriffe noch etwas genauer behandeln.

Linguistischen Variablen

Eine spezielle Form der unscharfen Mengen sind die linguistischen Variablen, deren Werte nicht durch Zahlen, sondern durch sprachliche Ausprägungen (Worte, Ausdrücke,...) in einer natürlichen oder künstlichen Sprache dargestellt werden. Dies ermöglicht die Unschärfe der Sprache (etwas weniger, etwas mehr, mittel,...) in eine dem Rechner zugängliche Form zu verwandeln. Die normale Mathematik arbeitet mit quantitativer Bestimmung von Werten. Umgangssprachlich verwendet man aber zumeist leicht verständliche, eher unscharfe Ausdrücke, um technische Vorgänge zu beschreiben. Die einzelnen Ausprägungen dieser Variablen, also die Werte, die sie annehmen kann, werden durch unscharfe Mengen dargestellt.

Fuzzy Operatoren

Hierhin fallen alle funktionalen Möglichkeiten, zwei oder mehrere unscharfe Mengen miteinander in Beziehung zu setzen. Also z.B. die Bildung von Minimum und Maximum oder der Durchschnitt. Sehr häufig Anwendung finden die Durchschnitts-Operatoren. Hierbei geht es speziell um die Anwendung der Verknüpfungen „UND“ und „ODER“. Diese nehmen bei unscharfen Mengen den Platz einer Verallgemeinerung der logischen Begriffe „UND“ bzw. „ODER“ ein. Für die UND-Funktion wird in der Regel der minimum-Operator angewandt. Er ist sehr zu berechnen und verfügt über mathematisch sehr günstige Eigenschaften: Kommutativität und Assoziativität. Er existiert seit der Erfindung der Fuzzy-Theorie und ist in allen kommerziellen Tools im Einsatz. Der große Nachteil die Methode liegt jedoch darin begründet, daß immer nur die kleinste Übereinstimmung berücksichtigt wird. Wird hingegen der ODER-Operator verwendet, so entspricht das dem Maximum der Wahrheitsgrade der beiden einzelnen Aussagen.

Produktionsregeln

Die Reglerausgabe hat auch einen Wahrheitsgrad der von den Wahrheitsgraden der Eingaben abhängt. Es gibt keine Garantie, daß die Fuzzy-Logik komplexe Systeme erfolgreich behandeln kann, da es schwierig ist die Stabilität solcher Regler zu beweisen. Ein auf Fuzzy-Logic basierender Regler basiert eigentlich auf einer Schätzfunktion für das System.

Daraus ergibt sich folgendes Entwicklungsprinzip für Fuzzy-Regeln:

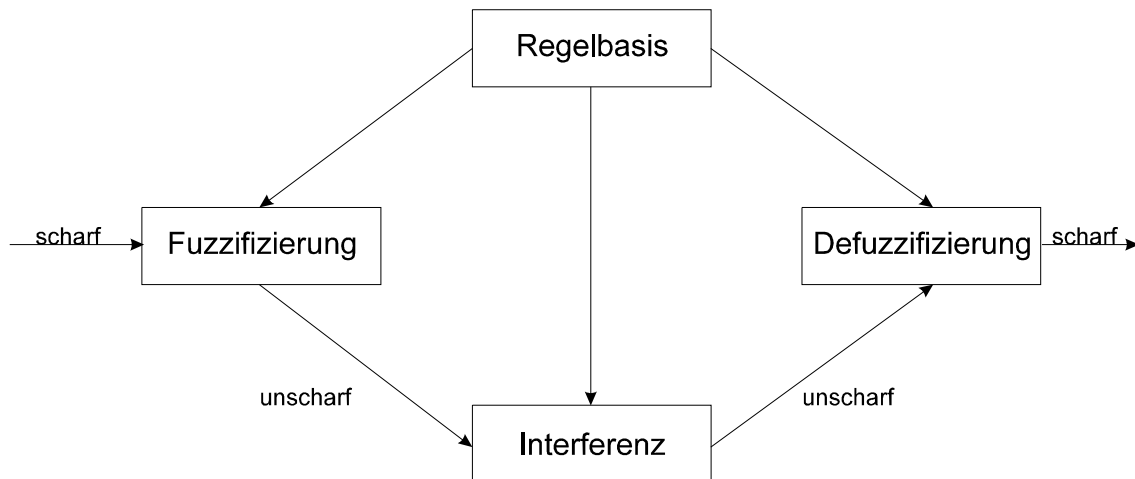
- Definition der Eingangs- und Ausgangsgrößen anhand der vom Operator beobachteten und gesteuerten Prozeßgrößen.
- Vorbereitung der Regelgröße die sich aus anderen Meßwerten ergibt.
- Bestimmung der Wertebereiche von Ein- und Ausgangsgrößen und ihrer Normierung.
- Definition und Zusammenstellung der Variablen für Ein- und Ausgang.
- Quantifizierung der linguistischen Variablen für Ein- und Ausgang
- Formulierung der Fuzzy-Regeln

Linguistische Approximationen

Darunter versteht man das Finden von passenden sprachlichen Ausprägungen zu einer gegebenen unscharfen Menge. Dabei wird das Referenz-Fuzzy-Set mit verschiedenen anderen Referenz-Fuzzy-Sets, deren sprachliche Ausprägung bekannt ist, verglichen, und das näherungsweise am besten Passende herausgesucht.

Struktur eines Fuzzy-Systems

Die meisten Anwendungsfälle von Fuzzy-Systemen findet man heute bei technischen Steuerungsaufgaben, weswegen hier auch ein Fuzzy-Controller besprochen werden soll. Bei der Fuzzy-Control (FC) handelt es sich um eine regelungstechnische Anwendung der Fuzzy-Theorie, die dann zum Einsatz kommt, wenn kein oder nur ein sehr komplexer mathematisches Modell existiert. Die meisten Fuzzy-Controls erweisen sich dabei durchaus stabiler und fehlertoleranter als konventionelle Regler, die für ihre Präzision bekannt sind. Außerdem sind komplexe Modelle wie Regelstrecken höherer Ordnung selbst für leistungsfähige Computer der heutigen Generation eine harte Nuß, die bei Echtzeitverarbeitung kaum zu knacken ist. Geringere Investitionskosten stellen einen weiteren Punkt dar, warum sich FC's großer Beliebtheit erfreuen.



Fuzzyfizierung

Zunächst muß eine präzise Systemdefinition vorliegen. Die Eingangswerte sind als linguistische Variablen aufzufassen, deren Wertebereich und physikalische Größen festzulegen sind. Im nächsten Schritt muß die Ausprägung der Variablen und ihre Zuordnung zu Fuzzy-Sets bestimmt werden. Nun müssen Zugehörigkeitsfunktionen für die einzelnen Fuzzy-Sets gefunden werden. Es ist sehr schwierig, hier generelle Empfehlungen auszusprechen, hier hilft meistens nur Ausprobieren.

Regelbasis

Das Expertenwissen über den zu modellierenden Prozeß wird in Regelform dargestellt. Diese sind in der einfachen Form WENN-DANN dargestellt, sind dadurch extrem flexibel, was die Erweiterbarkeit, die Modifizierbarkeit und die Verständlichkeit angeht.

Interferenz-Strategie

Das Interferenz-Modul innerhalb der Regelung hat die Aufgabe, aus gegebenen Fakten und Regeln Schlüsse zu ziehen. Zunächst erfolgt die Berechnung der Übereinstimmung der Klauseln einer Regel mit den momentan aktuellen Eingangsdaten. Nun wird für diese Regel ein Gesamtmaß an Übereinstimmung berechnet, dieses resultiert aus den Einzel-Übereinstimmungen der Fakten und Eingangsdaten. Dann werden eventuelle Sicherheitsfaktoren für die Gültigkeit der Regeln berücksichtigt und das Ergebnis aus dem vorherigen Schritt eventuell abgeschwächt. Da das Endergebnis der Regelauswertung niemals den Wert des Sicherheitsfaktors übersteigen darf, muß noch ein Interferenz-Operator angewendet werden. Dies läßt sich mit einem Minimum-Operator realisieren, der das Fuzzy-Set an entsprechender Stelle einfach abschneidet. Hier sollte bemerkt werden, daß eine ganze Reihe von Regeln den Weg bis hierher geschafft haben, es also nicht so, daß nur eine Regel Gültigkeit hat. Daher muß jetzt die Akkumulation stattfinden. Dies passiert mit einem Maximum-Operator, daher spricht man auch von min-max-Interferenz.

Defuzzifizierung

Hier angelangt haben wir ein Fuzzy-Set, welches ein sicher sehr bizarres Aussehen hat, und keine Ähnlichkeit mehr mit den Eingangsdaten besitzt. Wir müssen aber wieder auf einen scharfen Wert zurückrechnen. Dieser Wert kann in Bereichen ausgelassen werden, wo eine direkte Mensch-Maschine-Kommunikation erfolgt. Dieser Schritt ist wahrscheinlich der entscheidendste im ganzen Regler. Zwei Methoden sollen zum Abschluß noch angeführt werden:

- **Flächenschwerpunkt-Methode**

Hierbei wird einfach der Flächenschwerpunkt der resultierenden Zugehörigkeitsfunktion errechnet, dieses Verfahren ist in der Praxis sehr beliebt, da es sehr einfach zu implementieren ist. Im Prinzip wird hier zunächst die Fläche unter Kurve berechnet (Integration), wobei dazu die Kurvenbeschreibung in Intervallen vorliegen muß. Ist dies nicht der Fall, so muß numerisch integriert werden, was natürlich Ungenauigkeiten mit sich bringt.

- **Maximum-Methode**

Die Flächenschwerpunkt-Methode liefert gute Ergebnisse bei einer relativen Zielstrebigkeit des Ergebnisses. Wenn jedoch Nebenmaxima auftreten, kann es Störungen geben. Die Maximum-Methode wählt einfach den höchsten Punkt auf der Ergebnis-Zugehörigkeitsfunktion. Sollte dieser Punkt mehrfach vorhanden sein, so ergibt sich allerdings ein Konflikt. Lösungen für diesen Konflikt existieren, sind aber sehr komplex.