



Teil III: Wissensrepräsentation und Inferenz

Kap.7: Unsicherheit und Vagheit

Dieses Kapitel basiert auf Material von A. Abecker, welches auf Material basiert, das auf der nächsten Folie erwähnt wird.

Quellen

- Die Darstellung zum Theorem von Bayes folgt weitgehend der von Dr. Andreas Tolk, Uni der Bundeswehr, München
- Die Folien zu Certainty Factors stammen vorwiegend von Dr. Knut Hinkelmann, FH Solothurn, CH
- Die Folien zur Fuzzy-Logik fassen ein Tutorial der Uni Linz, Österreich, zusammen (Autoren Peter Bauer, Stephan Nouak, Roman Winkler, <http://www.flll.uni-linz.ac.at/>).
- Socher-Ambrosius / Heinsohn geben eine nette Einführung in Fuzzy-Logik, Bayes-Theorie, Sicherheitsfaktoren, etc.
- M.M. Richter: Prinzipien der Künstlichen Intelligenz. Teubner-Verlag, Stuttgart. Gibt einen umfassenden Einblick in existierende Ansätze zur Verarbeitung von Unsicherheit & Vagheit.



Arten von Unsicherheit & Vagheit



Subjektive Unschärfe Vagheit

- Fuzzy-Logik
- Rough Sets

Meinung

- epistemische Logik

Gerade bei mathematisch fundierten Modellen muss man beachten, ob die theoretischen (z.B. Unabhängigkeitsannahmen) und praktischen Voraussetzungen (z.B. relative Häufigkeiten als Schätzung für bedingte Häufigkeiten) jeweils gegeben sind.

Objektive Unsicherheit

Unwissenheit

- gewisse Fakten nicht bekannt
 - Default-Reasoning
- Häufigkeitsverteilung der möglichen Werte kann bekannt sein
 - Stochastik, z.B. **Bayes-Theorem**
- Häufigkeitsverteilung kann auch unbekannt sein
 - **Sicherheitsfaktoren**
 - Evidenztheorie

Ungenauigkeit, z.B. Messungenauigkeiten

- Intervallarithmetik
- Qualitative Abstraktion
- **Fuzzy-Logik**

Theorem von Bayes: Aufgabenstellung



- Bekannt ist die *a-priori Wahrscheinlichkeit* einer Hypothese:

Wie häufig kommt die Hypothese in der Regel vor?

- Zudem ist die *bedingte Wahrscheinlichkeit* bekannt, dass eine Beobachtung gemacht wird, wenn eine Hypothese zutrifft.
- Gesucht ist die *wahrscheinlichste Hypothese*, wenn entsprechende Beobachtungen vorliegen!

Theorem von Bayes: Beispiel



- Wir wissen von einem Fachbereich, dass an ihm 1/3 der Studenten Mathematik und 2/3 Elektrotechnik studieren.
- Wir wissen die jeweiligen Durchfallquoten in der Vorlesung Analysis I: 1/5 für die Mathematiker, 5/6 für die E-Techniker.
- Dies ergibt die bedingten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass ein Student besteht, wenn sein Studiengang bekannt ist.
- Nun betrachten wir einen einzelnen Studenten. Gesucht ist sein Studiengang.

© Andreas Tolk

5

Anwendung der Formel von Bayes im Beispiel



- Hypothese: Ein Mathematiker steht uns gegenüber.
- Wir wissen, daß 1/3 der Studenten von diesem Typ sind, d.h. $P(H)=0.33$.
- Nun beobachten wir: Der Student hat bestanden!
- Was können wir daraus schließen?
- Aufgrund der Bestehensquote der Mathematiker gilt $P(B/H) = 4/5 = 0.8$.
- Aufgrund der Bestehensquoten und der 1/3 : 2/3 - Verteilung wissen wir, dass $P(B) = 1/3 \cdot 4/5 + 2/3 \cdot 1/6 \approx 0.35$ für das Bestehen gilt.
- Schluss gemäß obiger Formel:
 $P(H/B) = P(H)/P(B) \cdot P(B/H) = 0.33 / 0.35 \cdot 0.8 = 0,75$
- Das heißt: Wenn wir wissen, dass der Student bestanden hat, ist die Wahrscheinlichkeit, dass uns ein Mathematiker gegenübersteht, mehr als doppelt so hoch, als dies a priori der Fall ist!

© Andreas Tolk

7

Die Formel von Bayes (für eine Hypothese und eine Beobachtung)



Aus der Wahrscheinlichkeitstheorie ist bekannt:

$$P(H/B) = \frac{|B \cap H|}{|B|} = \frac{|H|}{|H|} \cdot \frac{|B \cap H|}{|B|} = |H| \cdot \frac{|H \cap B|}{|H|} \cdot \frac{1}{|B|} = P(H) \cdot \frac{P(B/H)}{P(B)}$$

- $P(H/B)$ Wahrscheinlichkeit für Hypothese H, wenn Beobachtung B vorliegt.
- $P(H)$ à priori Wahrscheinlichkeit von Hypothese H
- $P(B)$ à priori Wahrscheinlichkeit von Beobachtung B
- $P(B/H)$ Wahrscheinlichkeit, dass B beobachtet wird, wenn die Hypothese H gilt.

© Andreas Tolk

6

Erweiterung des Theorems auf mehrere Beobachtungen



Das Theorem läßt sich auf mehrere Hypothesen und mehrere Beobachtungen erweitern. Für die relative Wahrscheinlichkeit einer Hypothese unter allen anderen Hypothesen folgt:

$$P_{\text{rel}}(H_j/B_1 \wedge \dots \wedge B_n) = \frac{P(H_j) \cdot P(B_1/H_j) \cdot \dots \cdot P(B_n/H_j)}{\sum_{j=1}^m P(H_j) \cdot P(B_1/H_j) \cdot \dots \cdot P(B_n/H_j)}$$

© Andreas Tolk

8

Voraussetzungen für das Theorem von Bayes



- Die Hypothesenmenge ist vollständig (Closed World Assumption).
- Die Hypothesen sind disjunkt (Single Fault Assumption).
- Beobachtungen sind disjunkt, d.h. unabhängig.
- Beobachtungen hängen nur von den Hypothesen ab.

In der Praxis kommen folgende Forderungen hinzu:

- Es müssen entsprechend vollständige Statistiken vorliegen, um die bedingten Wahrscheinlichkeiten aufstellen zu können.
- Die Wahrscheinlichkeiten müssen konstant sein oder der zeitliche Verlauf muss bekannt sein (inkl. der bereits geforderten Statistiken).

© Andreas Tolk

9

Certainty Factors



Beispiel: MYCIN [XPS zur Diagnose bakterieller Infektionskrankheiten]
- zur Entstehung der Sicherheitsfaktoren

IF (1) the infection is primary_bacteria, and
(2) the site of the culture is one of the sterile sites, and
(3) the suspected portal of entry is the gastrointestinal tract

THEN there is a suggestive evidence (0.7)
that the entity of the organism is bacteroides

Certainty Factors in MYCIN (Stanford University, 1972)



- MYCIN ist ein regelbasiertes Expertensystem, das Therapien für Patienten mit bakteriellen Infektionskrankheiten vorschlägt.
- MYCIN verwendet eine zielorientierte Strategie (Rückwärtsverkettung).
- In MYCIN ist jeder Regel ein Sicherheitsfaktor zugeordnet.
- Jedem Eintrag im Working Memory ist ein Sicherheitsfaktor (certainty factor) zugeordnet, der sich aus zwei Werten zwischen 0 und 1 berechnet:
 - MB: measure of belief
 - MD: measure of disbelief
- Der Sicherheitsfaktor (certainty factor - CF) eines Elements h errechnet sich aus MB und MD:
$$CF[h] = MB[h] - MD[h]$$
- CF ist positiv, falls mehr Evidenz für eine Hypothese spricht, ansonsten ist CF negativ.
 - $CF[h] = 1$ bedeutet, daß h sicher wahr ist,
 - $CF[h] = -1$ bedeutet, daß h sicher falsch ist.

Quelle: Hinkelmann

Anwendung einer Regel mit Certainty Factors

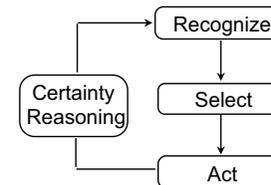


Die Anwendung einer Regel mit Certainty Factors entspricht dem üblichen Recognize-Select-Act-Zyklus mit folgenden Ergänzungen:

Für eine anzuwendende Regel

$R = \text{Wenn } B \text{ dann } K$ mit Sicherheitsfaktor CF
muss der Certainty Factor der Konklusion (Aktionsteil) berechnet werden:

- Berechne den Certainty Factor $CF(B)$ der Bedingung B
- Berechne den Certainty Factor $CF(R,B)$ der Regelinstanz aus $CF(B)$ und CF
- Berechne den Certainty Factor $CF(K/B)$ der Konklusion K aus $CF(R,B)$ und dem bereits bekannten Certainty Factor $CF(K)$, falls K bereits im Working Memory enthalten ist.



Quelle: Hinkelmann

Berechnung des Sicherheitsfaktors einer Regelinstanz



Sei $R = \text{Wenn } B \text{ dann } K$ mit Sicherheitsfaktor CF eine Regel.

Besteht der Bedingungsteil nur aus einem Ausdruck, dann ist der Sicherheitsfaktor $CF(B)$ des Bedingungsteils gleich dem Sicherheitsfaktor des die Bedingung erfüllenden Elements.

Ist der Bedingungsteil B der Regel ein komplexer Ausdruck aus Konjunktion, Disjunktion und Negation, dann berechnet sich der Sicherheitswert $CF(B)$ der Bedingung nach folgenden Regeln.

- Konjunktion: $CF(e1 \wedge e2) = \min[CF(e1), CF(e2)]$
- Disjunktion: $CF(e1 \vee e2) = \max[CF(e1), CF(e2)]$
- Negation: $CF(\neg e) = 1 - CF(e)$

Sei $CF(B)$ der Sicherheitswert der Bedingung, dann berechnet sich der Sicherheitswert $CF(R, B)$ der Regelinstanz wie folgt:

- Falls $CF(B) \leq 0$, dann ist die Regel nicht anwendbar
- Falls $CF(B) > 0$, dann gilt $CF(R, B) = CF(B) * CF$

Quelle: Hinkelmann

Beispiel für Certainty Factors



Production Memory:

- $R_1: (\forall x) \text{husten}(x) \rightarrow \text{erkaeltet}(x)$ mit $CF = 0.8$
- $R_2: (\forall x) \text{schnupfen}(x) \rightarrow \text{erkaeltet}(x)$ mit $CF = 0.5$
- $R_3: (\forall x) \text{erkaeltet}(x) \ \& \ \text{fieber}(x) \rightarrow \text{grippe}(x)$ mit $CF = 0.8$

Working Memory:

- $F_1: \text{husten}(\text{peter})$ mit $CF = 1$
- $F_2: \text{schnupfen}(\text{peter})$ mit $CF = 1$
- $F_3: \text{fieber}(\text{peter})$ mit $CF = 1$
- $\text{erkaeltet}(\text{peter})$ und $\text{grippe}(\text{peter})$ haben jeweils den $CF = 0$, da keine Information dazu im Working Memory

Aus $R_1: CF(\text{erkaeltet}(\text{peter}) / \text{husten}(\text{peter})) = 0 + [0.8 * [1 - 0]] = 0.8$
d.h. $CF(\text{erkaeltet}(\text{peter}))$ ist nun 0.8

Aus $R_2: CF(\text{erkaeltet}(\text{peter}) / \text{schnupfen}(\text{peter})) = 0.8 + [0.5 * [1 - 0.8]] = 0.9$
d.h. $CF(\text{erkaeltet}(\text{peter}))$ ist nun 0.9

$CF(\text{erkaeltet}(\text{peter}) \ \& \ \text{fieber}(\text{peter})) = \min[0.9, 1] = 0.9$
d.h. der CF der Regelinstanz für R_3 ist $0.8 * 0.9 = 0.72$

Aus $R_3: CF(\text{grippe}(\text{peter}) / \text{erkaeltet}(\text{peter}) \ \& \ \text{fieber}(\text{peter})) = 0 + [0.72 * [1 - 0]] = 0.72$
d.h. der revidierte $CF(\text{grippe}(\text{peter}))$ ist 0.72

Quelle: Hinkelmann

Berechnung von Sicherheitsfaktoren abgeleiteter Fakten



Sei $R = \text{Wenn } B \text{ dann } K$ mit Sicherheitsfaktor CF eine Regel

Sei $CF(B)$ der Sicherheitsfaktor des Bedingungsteils und $CF(R, B)$ der Sicherheitsfaktor der Regelinstanz.

Ist K bereits im Working Memory mit Sicherheitswert $CF(K)$, dann errechnet sich der neue Sicherheitswert $CF(K/B)$ wie folgt:

- Seien $CF(K)$ und CF beide positiv, dann gilt:
 $CF(K/B) = CF(K) + CF(R, B) * (1 - CF(K))$
- Seien $CF(K)$ und CF beide negativ, dann gilt:
 $CF(K/B) = CF(K) + CF(R, B) * (1 + CF(K))$
- Ansonsten gilt:

$$CF(K/B) = \frac{CF(K) + CF(R, B)}{1 - \min[CF(K), CF(R, B)]}$$

Aus den Formeln ergibt sich, daß $CF(K/B) = CF(R, B)$, falls keine Aussage über K im Working Memory steht, d.h. $CF(K) = 0$

Quelle: Hinkelmann

Programmierstil bei Regelsprachen ist inkrementell



Neue Fälle werden neue Regeln

Verfeinerung der Wissensbasis:

- füge spezialisierte Regel hinzu
- ersetze eine Regel durch mehrere neue (Fallunterscheidung)

Generalisierung: Bedingungen abschwächen

einfache Kontrollmöglichkeiten über Kontrollfakten

Achtung: Regelprogrammierung tendiert zum **Chaos**

Abhilfe-Ansätze:

- übergeordnete Kontrolle z.B. durch Kontexte / Kopplung mit Frames / ...
- Automatische Verifikation und Validierung auf Regelbasen

Grundsätzlich: **mehr Wissen rein!!**



- IF**
- (1) Kultur stammt aus steriler Quelle, und
 - (2) es gibt Regeln, die in ihrer Prämisse einen früheren Organismus erwähnen, der derselbe sein könnte wie der aktuelle

THEN es ist definitiv, daß beide Regeln nicht nützlich sind (1.0)

→ Aussortierung von Regeln mit Wissen aus dynamischer, aktueller Fallbetrachtung und Reasoning über Inhalt von Regeln in der Konfliktmenge.

17



- IF**
- (1) die Infektion ist ein Beckenabszeß, und
 - (2) es gibt Regeln, die in ihrer Prämisse enterobacteriaceae erwähnen, und
 - (3) es gibt Regeln, die in ihrer Prämisse gram-positive Stäbchen erwähnen

THEN es ist sinnvoll (0.4), die ersteren Regeln vor letzteren anzuwenden

→ Ordnen von Regeln mit Domänenwissen, im Gegensatz zur allgemeinen Konfliktlösungsstrategie

18



- IF**
- (1) es gibt Regeln, die in ihrer Prämisse das aktuelle Teilziel nicht erwähnen, und
 - (3) es gibt Regeln, die das aktuelle Teilziel erwähnen

THEN es ist definitiv (1.0), dass letztere vor ersteren ausgewertet werden sollten

→ allgemeine Heuristik, wird zur Laufzeit ausgewertet

19



- 1979: Vergleich von MYCIN und Stanford Uni-Ärzten im Bereich bakterielle Anämien / Meningitis
- 10 echte Fälle
- Bewertung der vorgeschlagenen Therapie durch unabhängige Experten
- max. 80 Punkte erreichbar

MYCIN	52 Punkte
Fakultät 1	50 Punkte
Fakultät 2	48 Punkte
Inf. Experte	48 Punkte
Fakultät 3	46 Punkte
Fakultät 4	44 Punkte
Student	24 Punkte

20



Fuzzy Logic ist im Kern eine mehrwertige Logik, die es erlaubt, Zwischenwerte zwischen konventionellen Bewertungen wie „wahr/falsch“, „ja/nein“, „schwarz/weiß“ zu definieren.

Sie erlaubt es, Begrifflichkeiten wie „ziemlich warm“ oder „etwas kühl“ mathematisch zu formulieren und mit Rechnern zu verarbeiten.

Auf diese Weise soll die Symbolverarbeitung des Computers der des Menschen ähnlicher werden.

Fuzzy Logic wurde 1965 von Lotfi A. Zadeh (University of California, Berkeley) eingeführt.

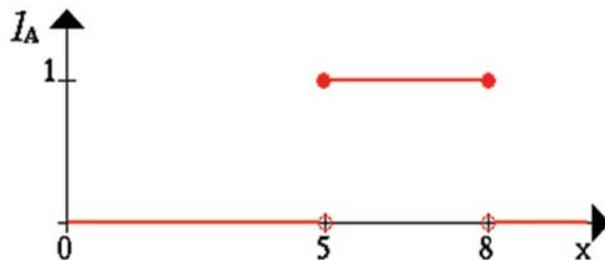
Nach: Uni Linz

21

Klassische Mathematik: „crisp sets“



- Sei unser Universum X die Menge aller reellen Zahlen zwischen 0 und 10, und sei $A := [5,8] \subseteq X$.
- Die Menge A kann durch ihre charakteristische Funktion beschrieben werden:



22



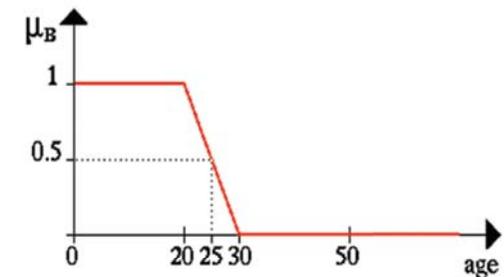
- Mögliche Modellierung: $B = [0,20]$???
- ABER: warum ist jemand an seinem 20 Geburtstag noch jung und genau einen Tag später überhaupt nicht mehr?
- Die Grenze zu verschieben verschiebt nur das Problem: strukturelles Problem der Modellierung mit harten Intervallen
- Natürlicherer Weg: „weiche“ die strenge Trennung zwischen „jung“ und „nicht mehr jung“ auf.
- Ansatz:
 - Erlaube nicht mehr nur die harte Aussage „JA! Er/sie ist in der Menge der jungen Leute enthalten.“ oder „NEIN! Er/sie ist nicht in der Menge enthalten.“,
 - stattdessen auch Aussagen wie „Na ja, er/sie gehört ein wenig mehr zur Menge der jungen Leute.“ oder „Nein, er/sie gehört fast gar nicht mehr dazu.“

23

Fuzzy Membership durch allgemeinere charakteristische Funktionen



- Statt 0 und 1 erlauben wir beliebige reelle Zahlen im Intervall von 0 bis 1 als Werte der charakteristischen Funktion einer Menge $[0, 1]$.
- Wir interpretieren 1 als „Element von B “ und 0 als „kein Element von B “. Alle anderen Werte bezeichnen eine graduelle Mitgliedschaft in der Menge B .
- Im Beispiel:

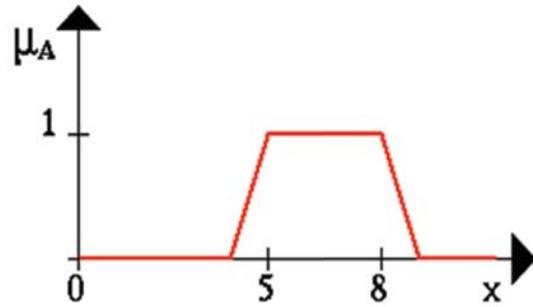


Wie definiert man Mengenoperationen auf Fuzzy Sets?

24



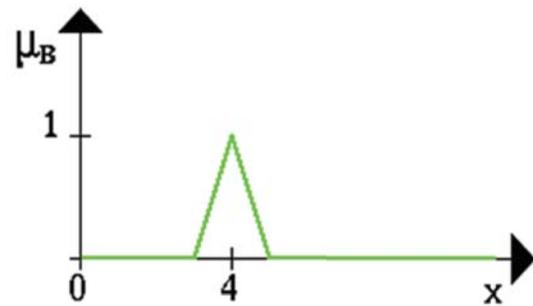
„etwa zwischen 5 und 8“



25



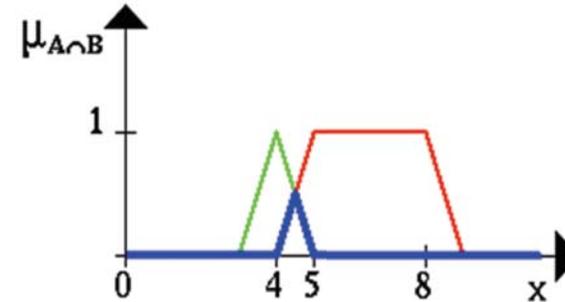
„ungefähr 4“



26



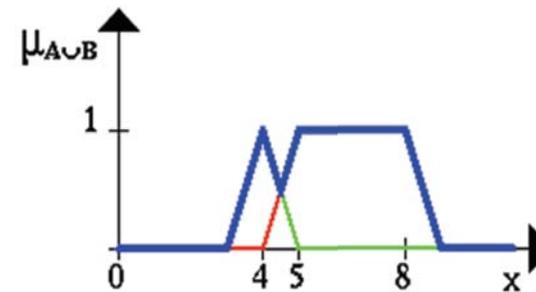
„(etwa zwischen 5 und 8) UND (ungefähr 4)“



27



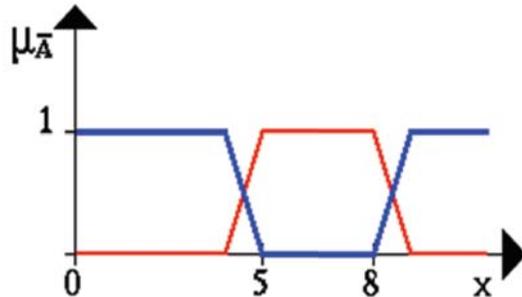
„(etwa zwischen 5 und 8) ODER (ungefähr 4)“



28



„NICHT (etwa zwischen 5 und 8)“



Und was kann man jetzt damit machen?

29

Fuzzy Control



- Fuzzy Controller sind die wichtigste Anwendung der Fuzzy-Theorie.
- Anstelle von Differentialgleichungen benutzen sie Expertenwissen zur Prozess-Steuerung.
- Zur Formulierung dieses Expertenwissens benutzt man **Linguistische Variablen**, beschrieben als Fuzzy-Mengen.

Beispiel: Stabbalance (inverses Pendel):

Ein Stab steht senkrecht auf der Ladefläche eines kleinen Wagens, der sich nur nach links und rechts bewegen darf. Der Wagen ist so zu bewegen, dass der Stab nicht umkippt.

30



Relevante Größen zur Beschreibung des Steuerverhaltens:

- Winkel zwischen Stab und Ladefläche
- Winkelgeschwindigkeit des Stabes beim Umkippen
- Geschwindigkeit des Wagens nach links bzw rechts

Beispielregeln zur Kontrolle des Experiments:

- „Wenn der Stab aufrecht steht (Winkel gleich 0) und sich gar nicht bewegt (Winkelgeschwindigkeit gleich 0), dann muss ich offensichtlich nichts tun.“
- Wenn der Stab in aufrechter Position ist, sich aber mit geringer Geschwindigkeit in eine bestimmte Richtung bewegt, dann sollte ich den Wagen ebenfalls mit geringer Geschwindigkeit in dieselbe Richtung bewegen.“

31

Formalisierung der Vorgehensweise



Zuerst einmal definieren wir für die linguistischen Werte der drei betroffenen Variablen die Wertebereiche:

negative high, negative low, zero, positive low, positive high

Die obigen Regeln werden dann zu einfachen Produktionen

- If angle is zero and angular velocity is zero then speed shall be zero.
- If angle is zero and angular velocity is pos. low then speed shall be positive low.
- ...

Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass zu Beginn der Stab in nahezu senkrechter Position ist, so dass ein größerer Auslenkwinkel als etwa 45 Grad per Definition niemals auftauchen kann.

32

Alle anwendbaren Regeln



Abkürzungen:

NH: negative high
 NL: negative low
 Z: zero
 PL: positive low
 PH: positive high

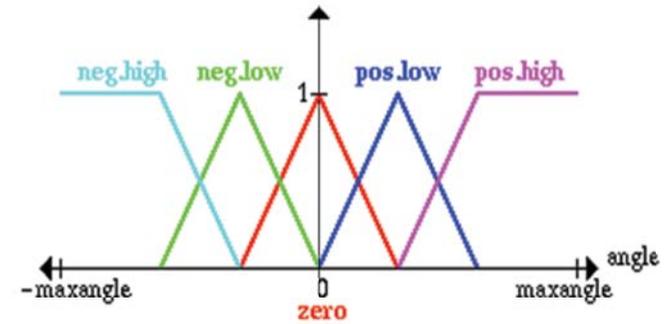
Winkel zwischen Stab und Wagen

	NH	NL	Z	PL	PH
NH			NH		
NL			NL	Z	
Z	NH	NL	Z	PL	PH
PL		Z	PL		
PH					PH

Reaktion:
 Wagen-
 geschwindigkeit

Winkel-
 geschwin-
 digkeit des
 Stabes

Fuzzy-Mengen für den Winkel zwischen Ladefläche und Stab

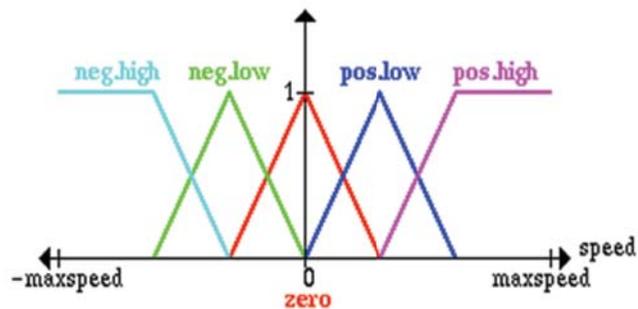


33

Fuzzy-Mengen für die Geschwindigkeit des Wagens

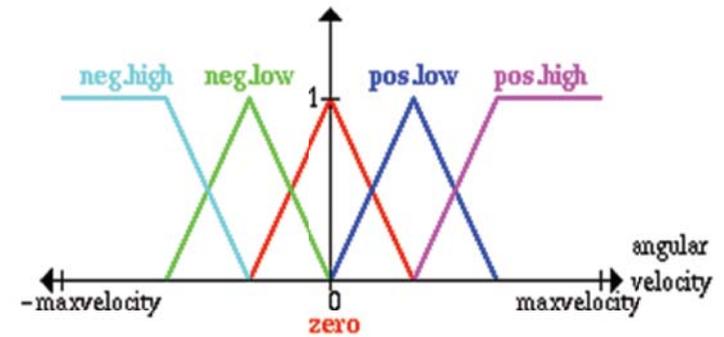


negative high (cyan)
 negative low (green)
 zero (red)
 positive low (blue)
 positive high (magenta)



34

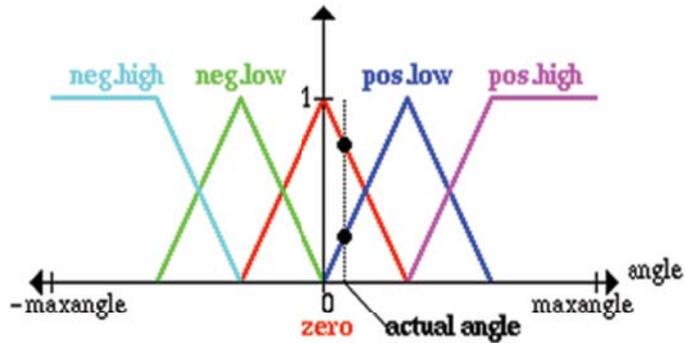
Fuzzy-Mengen für die Winkelgeschwindigkeit des Stabes



Wie interpretiere ich nun einen konkreten aktuellen Wert für den Winkel/die Winkelgeschwindigkeit in der Fuzzy-Welt?

36

Regelanwendung für einen konkreten Winkelwert

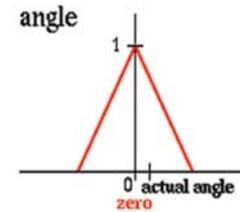


37

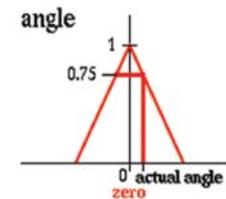
Regelanwendung (1/4)



If angle is zero and angular velocity is zero then speed is zero.



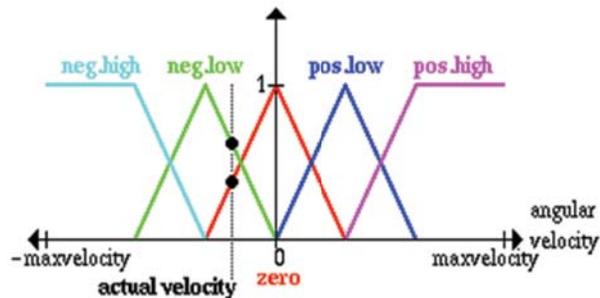
This is the linguistic variable "angle" where we zoom in on the fuzzy set "zero" and the actual angle.



We realize that our actual value belongs to the fuzzy set "zero" to a degree of 0.75.

39

Ein konkreter Wert für die Winkelgeschwindigkeit

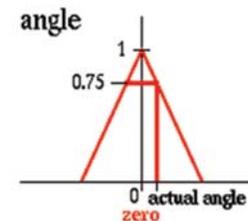


38

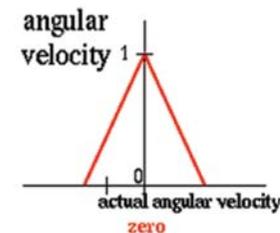
Regelanwendung (2/4)



If angle is zero and angular velocity is zero then speed is zero



We realize that our actual value belongs to the fuzzy set "zero" to a degree of 0.75.

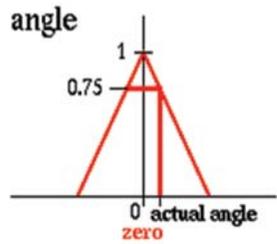


This is the linguistic variable "angular velocity" where we zoom in on the fuzzy set "zero" and the actual angular velocity.

40

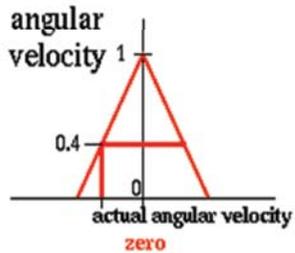
Wie werden jetzt komplexe Regelprämissen (mit mehreren konjunktiv verknüpften Vorbedingungen) interpretiert?

Regelanwendung (3/4)



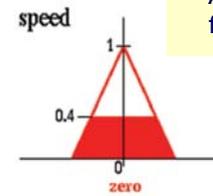
If angle is zero and angular velocity is zero then speed is zero

We realize that our actual value belongs to the fuzzy set "zero" to a degree of 0.75.



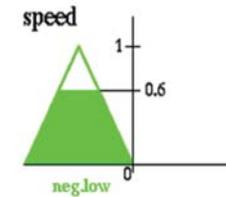
We realize that our actual value belongs to the fuzzy set "zero" to a degree of 0.4.

Als nächstes müssen die Ergebnisbeiträge aller feuernenden Regeln (vier) zusammengefaßt werden



Als nächstes müssen die Ergebnisbeiträge aller vier feuernenden Regeln zusammengefasst werden:

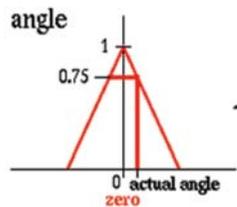
If angle is zero and angular velocity is zero then speed is zero



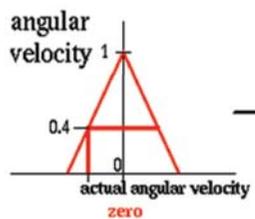
If angle is zero and angular velocity is negative low then speed is zero

Regelanwendung (4/4)

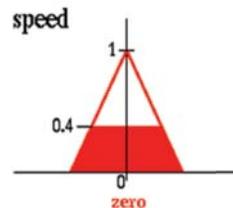
41



If angle is zero and angular velocity is zero then speed is zero



min

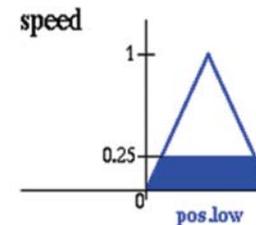


Since the two parts of the condition of our rule are connected by an AND we calculate $\min(0.75, 0.4) = 0.4$ and cut the fuzzy set "zero" of the variable "speed" at this level (according to our rule).

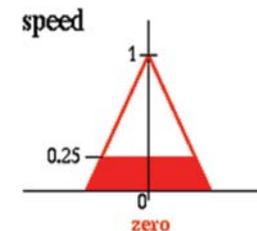
42

Ergebniskombination (2/3)

43

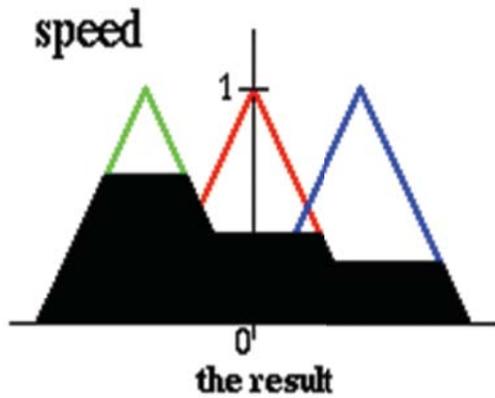


If angle is positive low and angular velocity is zero then speed is positive low

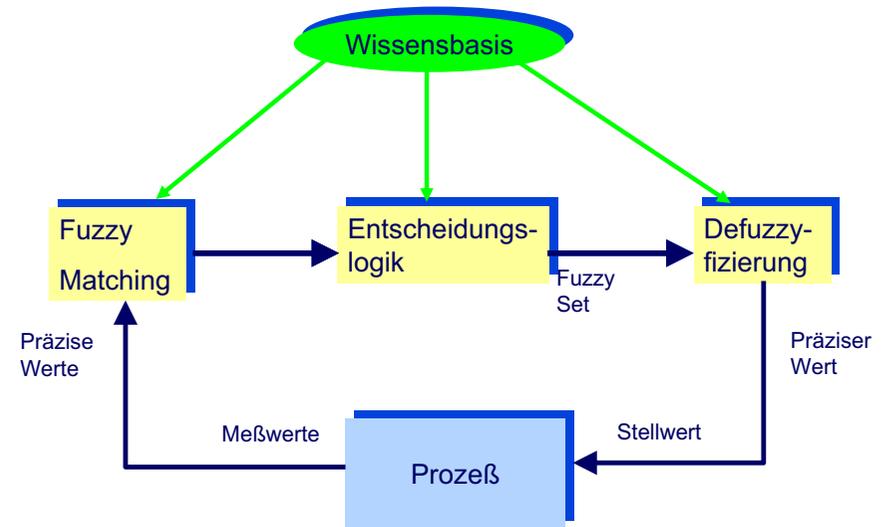


If angle is positive low and angular velocity is negative low then speed is zero

44



Wie kommt man nun von dieser Fuzzy-Menge zur Ergebnisbeschreibung zu einer konkreten quantitativen Handlungsanweisung?

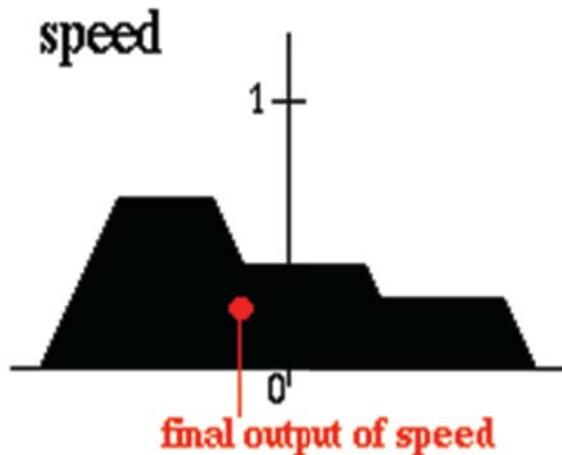


Defuzzification

45



Eine Standardmethode betrachtet den Schwerpunkt der Form der Fuzzy Membership Function:



Zur Verwendung der Fuzzy Logic

47



Fuzzy Control ist empfehlenswert ...

- für sehr komplexe Prozesse, wo kein mathematisches Modell existiert.
- für hochgradig nichtlineare Prozesse.
- wenn man sprachlich formuliertes Expertenwissen verarbeiten muss.

Die Verwendung von Fuzzy Control mag eine schlechte Idee sein, wenn ...

- die konventionelle Kontrolltheorie bereits zufriedenstellende Ergebnisse liefert.
- ein leicht lösbares mathematisches Modell bereits existiert.
- das Problem nicht lösbar ist.



- Automatic control of dam gates for hydroelectric-powerplants (Tokio Electric Pow.)
- Preventing unwanted temperature fluctuations in air-conditioning systems (Mitsubishi, Sharp)
- Efficient and stable control of car engines (Nissan)
- Positioning of wafer-steppers in the production of semiconductors (Canon)
- Optimized planning of bus timetables (Toshiba, Nippon-System, Keihan-Express)
- Archiving system for documents (Mitsubishi Elec.)
- Prediction system for early recognition of earthquake's (Inst. of Seismology Bureau of Metrology, Japan)
- Medicine technology: cancer diagnosis (Kawasaki Medical School)
- Recognition of handwritten symbols with pocket computers (Sony)
- Automatic motor-control for vacuum cleaners with recognition of surface condition and degree of soiling (Matsushita)
- Back light control for camcorders (Sanyo)
- Compensation against vibrations in camcorders (Matsushita)
- Single button control for washing-machines (Matsushita, Hitachi)
- Recognition of handwriting, objects, voice (CSK, Hitachi, Hosai Univ., Ricoh)
- Flight aid for helicopters (Sugeno)
- Controlling of machinery speed and temperature for steel-works (Kawasaki Steel, New-Nippon Steel, NKK)
- Controlling of subway systems in order to improve driving comfort, precision of halting and power economy (Hitachi)
- Improved fuel-consumption for automobiles (NOK, Nippon Denki Tools)
- Improved sensitiveness and efficiency for elevator control (Fujitec, Hitachi, Toshiba)
- Improved safety for nuklear reactors (Hitachi, Bernard, Nuclear Fuel div.)