

4 ANFIS

ANFIS wurde als weiteres Modell eines Neuro-Fuzzy-Systems 1992 von Jyh-Shing Roger Jang an der University of California at Berkeley entwickelt.

Es stellt ein Adaptive Network-based Fuzzy Inference System, also ein lernfähiges netzwerkbasierendes Fuzzy-Schlussfolgerungs-System dar.

Hierfür werden Fuzzy-Regeln in einem Neuronales Netz implementiert.

Kennzeichnend für das ANFIS-Modell ist, daß die jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen festgelegt sind, während sich die Parameter dieser Funktionen beim Lernvorgang verändern können.

Mit ANFIS können zwei Typen von Fuzzy-Controllern emuliert werden.

- Tsukamoto-Regler
- Sugeno-Takagi-Kang-Regler

Der Mamdani-Regler kann nicht nachgebildet werden, da die Weitergabe von Fuzzymengen mit Neuronen nicht erreicht werden kann. [Sau08]

Als Lernalgorithmus wird für ANFIS ein Hybrid-Lern-Algorithmus verwendet.

4.1 Tsukamoto-Regler

Der Tsukamoto-Regler ist einer der beiden von ANFIS emulierbaren Fuzzy-Controllern. Seine Funktionsweise kann wie folgt beschrieben werden.

- Jede Regel aus der Regelbasis, des Controllers wird mit einer monotonen Zugehörigkeitsfunktion (ZGF) verknüpft. Im Bild unten C1, C2.
- Die Ergebnisse dieser Zugehörigkeitsfunktion sind jeweils ein crisp Wert.
- Der Ausgangswert z des Controllers wird gebildet, in dem das gewichtete Mittel aus den einzelnen crisp Funktionswerten z_1, z_2, \dots, z_n berechnet wird. Das Ergebnis ist ebenfalls ein crisp Wert. Er muß daher nicht aufwendig defuzzifiziert werden, wie es zum Beispiel bei einem Mamdani-Controller notwendig ist.

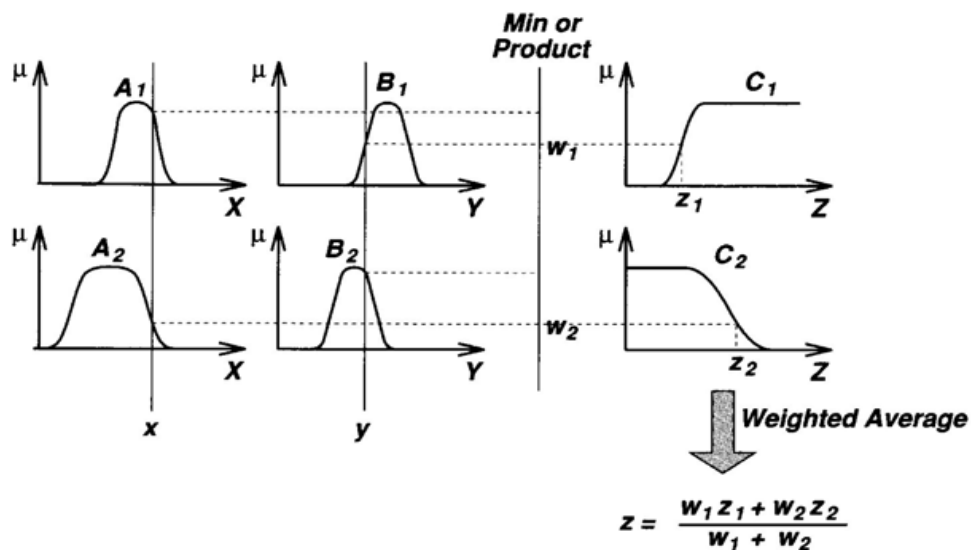


Abbildung 7: Das Tsukamoto-Modell [Bar05]

4.2 Sugeno-Takagi-Kang-Regler

Der Sugeno-Takagi-Kang-Regler ist der zweite, von ANFIS emulierbare Fuzzy-Controller.

Seine Funktionsweise kann wie folgt beschrieben werden.

Eine typische Regel mit zwei Eingangswerten lautet zum Beispiel:

- If x is A1 and y is B1 then z = f(x,y) [Mic02]
Wobei A1, B1 Werte linguistischer Variablen und x, y, z Crisp Werte sind.
- Die anzuwendenden Regeln b.z.w. Funktionen werden nun anhand der Eingangswerte bestimmt.
- Der Ausgangswert z des Controllers wird ebenfalls gebildet, in dem das gewichtete Mittel aus den einzelnen crisp Funktionenwerten z1, z2, ..., zn berechnet wird. Das Ergebnis ist daher wie bei dem zuvor vorgestellten Controller auch ein crisper Wert, welcher nicht aufwendig defuzzifiziert werden muss, wie es bei einem Mamdani-Controller erforderlich ist.

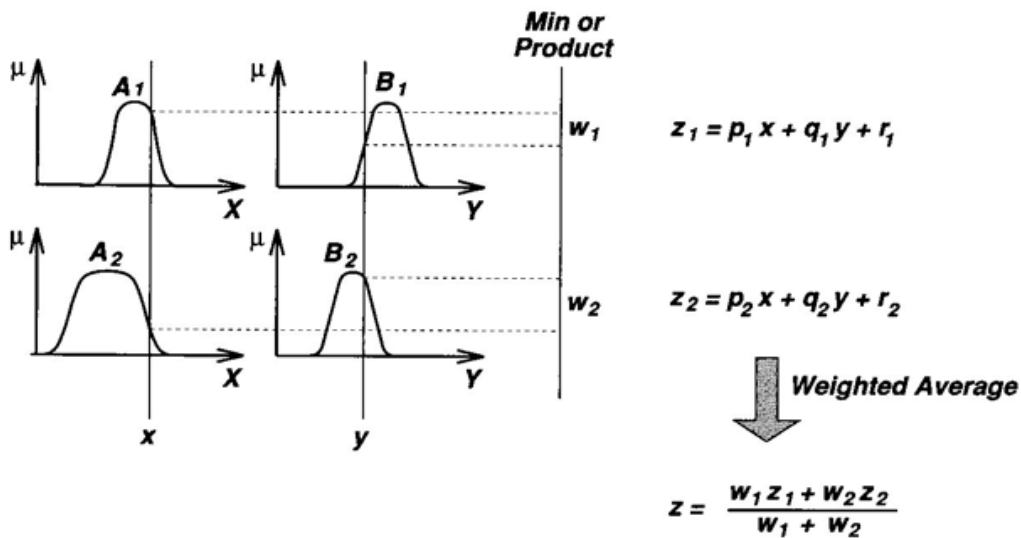


Abbildung 8: Das Sugeno-Takagi-Kang-Modell [Bar05]

Ein Beispiel, zur Verdeutlichung, wie die anzuwendende Regel ermittelt wird:

- Gegeben seien A_1 und A_2 als crisper Eingangswerte.
- Aufgrund vordefinierter Zugehörigkeitsfunktionen ZGF ergebe sich, daß der gegebene Wert für A_1 der ZGF nK und der gegebene Wert für A_2 der ZGF pK angehöre.
- So ist in diesem Beispiel aus der nachfolgend aufgeführten Tabelle zu entnehmen, daß die Regel eN anzuwenden ist.
Diese Regel könnte dann zum Beispiel so aussehen: $z_{eN} = 0,01x + 0,025y + 7$

$A_2 \downarrow A_1 \Rightarrow$	nG	nK	eN	pK	pG
nG	pG	pG	pK	eN	nK
nK	pG	pG	pK	eN	nK
eN	pG	pK	eN	nK	nG
pK	pK	eN	nK	nG	nG
pG	pK	nK	nG	nG	nG

n negativ
p positiv
e etwas
N Null
K Klein
G Groß

Tabelle 2: Bestimmung von Fuzzy-Regeln aufgrund der Zugehörigkeit der Eingangswerte zu bestimmten Fuzzy-Mengen [Bar05]

4.3 ANFIS-Architektur

Die ANFIS Architekturen zur Nachbildung der beiden zuvor vorgestellten Fuzzy-Reglern bestehen jeweils aus einem 5-Schichten Modell.

Wie zu Anfang schon erwähnt werden im ANFIS Modell die Parameter der Regeln erlernt, während die Regeln selbst von Anfang an feststehen. In den nachfolgend gezeigten ANFIS-Architekturen werden die Optimierungen der Parameter in der ersten und vierten Schicht vorgenommen.

Die einzelnen Schichten dieser Architekturen übernehmen nun folgende Aufgaben. In der ersten Schicht wird die Zugehörigkeit zu den Fuzzymengen bestimmt. Innerhalb der zweiten Schicht werden die Gewichte der Regeln durch Produktbildung erstellt.

Die dritte Schicht dient der Berechnung der normalisierten Gewichte.

Während in der vierten Schicht die Berechnung der Ergebnisse der einzelnen Regeln stattfindet, wird in der fünften Schicht das Gesamtergebn durch Summenbildung erzeugt.

Zu beachten ist, daß in der vierten Schicht des Sogeno-Takagi-Kang-Reglers die Eingangswerte zur Berechnung der Funktionsergebnisse direkt mit einfließen. [Sau08]

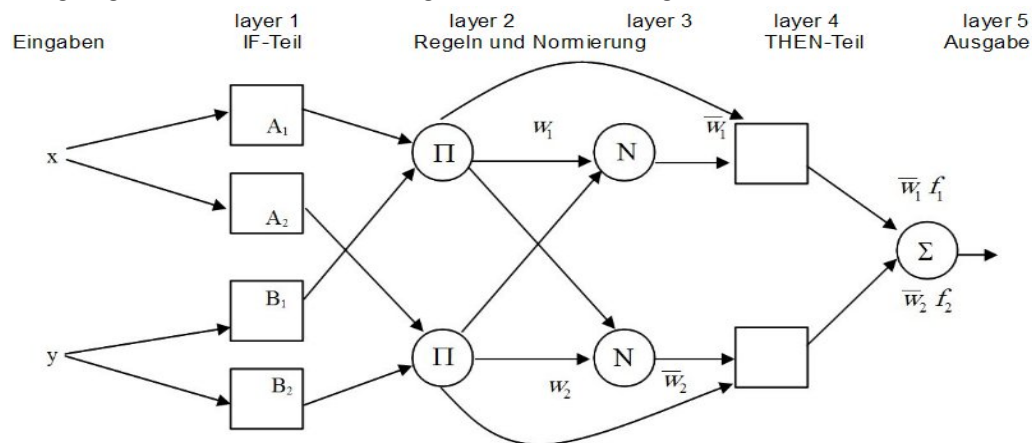


Abbildung 9: ANFIS-Architektur zur Nachbildung des Tsukamoto-Reglers [Sau08]

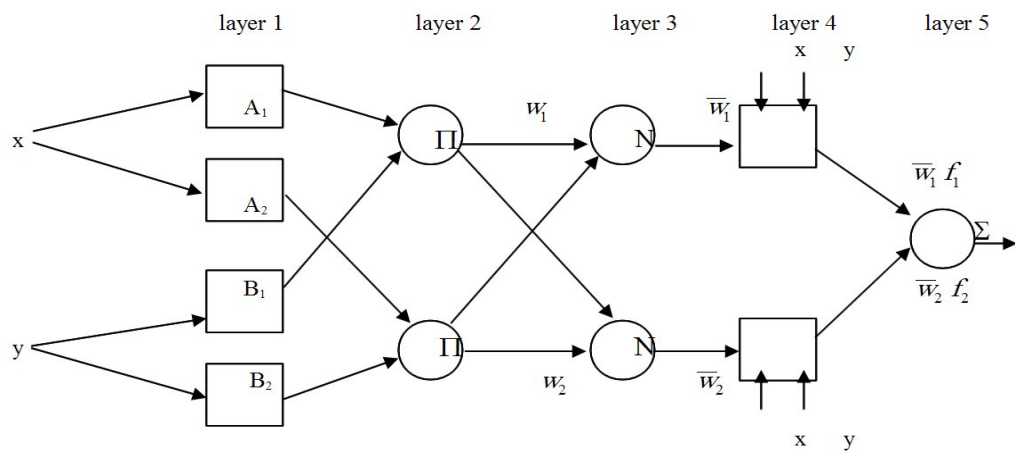


Abbildung 10: ANFIS-Architektur zur Nachbildung des Sugeno-Takagi-Kang-Regler [Sau08]

4.4 Hybrid-Lern-Algorithmus

ANFIS verwendet zur Optimierung seiner Parameter den sogenannten Hybrid-Lern-Algorithmus.

Dieser beinhaltet den Backpropagation-Algorithmus und die Methode des kleinsten quadratischen Schätzers. [Bot08]

Der Premissenparameter S_1 , der ersten Schicht in den ANFIS-Modellen wird mittels des Backpropagationverfahren optimiert.

Der Konsequenzparameter S_2 , der vierten Schicht in den ANFIS-Modellen wird mit der Methode des kleinsten quadratischen Schätzers optimiert. [Bor03]

Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt:

Zur Optimierung des Konsequenzparameters S_2 wird ein Forward Pass durchgeführt.

Für jedes Trainingspaar (x, output) werden die Werte berechnet.

Der Premissenparameter S_1 bleibt unverändert, so daß die Funktion des Netzes nur vom Konsequenzparameter S_2 abhängig ist.

Diese Funktion ist bzgl. der Parameter bei festen Werten von S_1 linear.

Man erhält so zwei Matrizen A, B mit $A \cdot S = B$.

Nun wird der kleinste Quadratische Schätzer über die Minimierung von $\|AS - B\|^2$ berechnet.

Dies ergibt die optimierten Parameter von S_2 . [Sau08]

Zur Optimierung des Premissenparameters S_1 wird ein Backward Pass durchgeführt.

Hierfür bleibt nun der Konsequenzparameter S_2 unverändert.

Zur Anwendung kommt nun der Backpropagation-Algorithmus als Spezialfall der Gradientenmethode. [Sau08]

Bei ANFIS-Netzen, die den Tsukamoto-Regler nachbilden werden die Ereignisfunktionen der vierten Schicht durch stückweise lineare Funktionale ersetzt und dann jeweils die Hybrid-Methode angewandt.

Bei ANFIS Netzen, die den Sugeno-Takagi-Kang-Regler nachbilden, wird das Gesamtverhalten des Netzes als Linearkombination der Parameter der vierten Schicht interpretiert. [Mic02]

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2$$