



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.12.1997 Patentblatt 1997/52

(51) Int. Cl.⁶: H04R 25/00

(21) Anmeldenummer: 96110068.2

(22) Anmeldetag: 21.06.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE DK LI

(71) Anmelder:
Siemens Audiologische Technik GmbH
91058 Erlangen (DE)

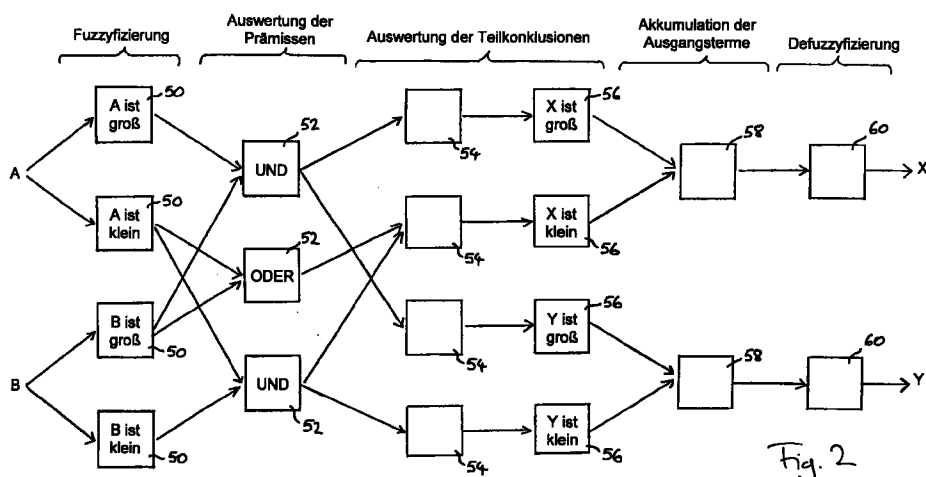
(72) Erfinder:
Weinfurtner, Oliver, Dipl.-Ing.
91058 Erlangen (DE)

(74) Vertreter:
Fuchs, Franz-Josef, Dr.-Ing. et al
Postfach 22 13 17
80503 München (DE)

(54) **Hörgerät**

(57) Ein Hörgerät mit einem Eingangswandler (12), einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), einem Ausgangswandler (14) und einer Berechnungseinrichtung (20), die Fuzzy-Logik-Funktionen realisiert, auf ein an der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffenes Abgriffssignal (22) anspricht und ein Ergebnissignal (26) liefert, das der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zugeführt wird und ein von dieser abgegebenes Ausgabesignal (28) beein-

flußt, wird dadurch weitergebildet, daß zumindest die Berechnungseinrichtung (20) in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt ist. Ein derartiges Hörgerät läßt sich mit geringem Entwicklungs- und Schaltungsaufwand herstellen, arbeitet zuverlässig und ermöglicht eine optimale Anpassung an die spezifischen Bedürfnisse des Hörgeräteträgers.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Hörgerät nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Unter einem "Signal" soll hier der Verlauf einer oder mehrerer physikalischer Größen an einem oder mehreren Meßpunkten über die Zeit verstanden werden; jedes Signal kann also aus einem Bündel von Einzelsignalen bestehen.

Aus der EP-A-0 674 464 ist ein derartiges Hörgerät bekannt, bei dem ein Fuzzy-Logik-Controller vorgesehen ist, um entweder die Signalübertragungscharakteristik einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung zu verändern oder einen Satz von die Signalübertragungscharakteristik beeinflussenden Parametern aus einem Parameterspeicher automatisch auszuwählen.

In der EP-A-0 674 463 ist ein ähnliches Hörgerät offenbart, bei dem einer automatischen Verstärkungsregelschaltung (automatic gain control - AGC) ein Fuzzy-Logik-Regler zugeordnet ist.

Bei den in diesen Offenlegungsschriften beschriebenen Hörgeräten ist jedoch nur eine Realisierung von Fuzzy-Logik-Funktionen in analoger Schaltungstechnik vorgesehen. Daraus ergibt sich das Problem eines hohen schaltungstechnischen Aufwandes, der insbesondere wegen der bei Hörgeräten erforderlichen Miniaturisierung nachteilig ins Gewicht fällt.

Die Erfindung hat demgemäß die Aufgabe, das genannte Problem zu lösen. Insbesondere soll durch die Erfindung ein Hörgerät bereitgestellt werden, das sich mit geringem Entwicklungs- und Schaltungsaufwand herstellen läßt und dabei eine optimale Anpassung an die spezifischen Erfordernisse des Hörgeräteträgers ermöglicht.

Die Erfindung hat demgemäß die Aufgabe, das genannte Problem zu lösen. Insbesondere soll durch die Erfindung ein Hörgerät bereitgestellt werden, das sich mit geringem Entwicklungs- und Schaltungsaufwand herstellen läßt und dabei eine optimale Anpassung an die spezifischen Erfordernisse des Hörgeräteträgers ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß bei einem Hörgerät der eingangs genannten Art zumindest die Berechnungseinrichtung in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt ist.

Ein digitaler Aufbau einer Berechnungseinrichtung, die Fuzzy-Logik-Funktionen realisiert, bietet ein hohes Maß an Kompatibilität mit der digitalen Signalverarbeitung: Eine zusätzliche Umsetzung (Analog/Digital oder Digital/Analog) ist nicht erforderlich, und die Berechnungseinrichtung kann ganz oder teilweise mit den gleichen Komponenten realisiert werden wie die übrige Verarbeitung der Signale. Daraus ergibt sich eine leichte Kombinierbarkeit der Berechnungseinrichtung mit herkömmlichen digitalen Daten- und Signalverarbeitungsfunktionen, wie sie z.B. in Mikroprozessoren oder Signalprozessoren üblich sind. Überdies bietet die Digitaltechnik Vorzüge wie erhöhte Störsicherheit und Unempfindlichkeit gegen Fertigungstoleranzen.

Die Berechnungseinrichtung ist bevorzugt mit üblichen digitalen Bauelementen wie Gattern, Flip-Flops, Speichern etc. gebildet; allgemeiner mit Schaltnetzen und Schaltwerken. Sie kann insbesondere als ASIC (application specific integrated circuit - anwendungsspezifische integrierte Schaltung) ausgestaltet sein. Alternativ ist es möglich, die Berechnungseinrichtung

als Mikroprozessor oder Mikrocontroller mit einem zugehörigen Programm auszubilden, das in einem Nur-Lese-Speicher (ROM; insbesondere maskenprogrammiertes ROM, PROM, EPROM oder EEPROM) oder einem Schreib-Lese-Speicher (RAM) gespeichert ist. Auch Mischformen sind möglich; beispielsweise können spezifische festverdrahtete Module mit einer programmierten Steuerung verbunden sein. Dies ist insbesondere für Funktionen sinnvoll, die häufig ausgeführt werden und sich relativ einfach digital realisieren lassen, beispielsweise für Funktionen zur Berechnung des Maximums oder Minimums mehrerer Binärzahlen.

Bevorzugt wird bei dem erfindungsgemäßen Hörgerät die Berechnungseinrichtung für die direkte Signalverarbeitung und/oder für die Steuerung von Signalverarbeitungsfunktionen und/oder für die automatische Auswahl von Hörprogrammen im Hörgerät eingesetzt.

Ferner realisiert die Berechnungseinrichtung des Hörgerätes die Fuzzy-Logik-Funktionen bevorzugt durch Ausführen der Teilschritte Fuzzyfizierung von scharfen Eingangsvariablen, Auswertung von Prämissen, Auswertung von Teilkonklusionen, Akkumulation von Ausgangstermen und Defuzzyfizierung. Die dazu erforderlichen Berechnungen sind bevorzugt auf mehrere Berechnungsmodule verteilt, die lokale oder gemeinsame Speicher aufweisen können.

Konfigurationsparameter der Berechnungseinrichtung sind vorzugsweise in einem Speicher, beispielsweise einem RAM oder EEPROM, abgelegt, so daß eine Neuprogrammierung der Berechnungseinrichtung durch den Hörgeräteakustiker und/oder sogar eine Adaption der Funktion der Berechnungseinrichtung während des Betriebs des Hörgerätes möglich ist.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den übrigen Unteransprüchen definiert.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun unter Hinweis auf die Zeichnungen genauer beschrieben. Es stellen dar:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Hörgerätes,

Fig. 2 eine konzeptionelle Darstellung einer beispielhaften Verarbeitungsstruktur,

Fig. 3 Graphen von Zugehörigkeitsfunktionen zur Veranschaulichung der Fuzzyfizierung,

Fig. 4a bis Fig. 4c und Fig. 5a bis Fig. 5e Graphen von beispielhaften Zugehörigkeitsfunktionen,

Fig. 6 eine die Auswertung von Prämissen veranschaulichende Darstellung,

Fig. 7 eine Darstellung zweier Möglichkeiten zur Bestimmung des Aktivierungsgrades einer Teilkonklusion,

Fig. 8 eine Darstellung zweier Möglichkeiten zur Bestimmung der Aktivierung eines Terms,

Fig. 9 eine Darstellung zweier Möglichkeiten zur Akkumulation von Ausgangstermen,

Fig. 10 eine ein erstes Verfahren zur Defuzzifizierung veranschaulichende Darstellung,

Fig. 11 eine ein zweites Verfahren zur Defuzzifizierung sowie ein aufwandsreduziertes Verfahren veranschaulichende Darstellung,

Fig. 12 ein Blockschaltbild einer Berechnungseinrichtung eines erfindungsgemäßen Hörgerätes,

Fig. 13 ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsalternative der in Fig. 12 gezeigten Berechnungseinrichtung, und

Fig. 14 ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsalternative der in Fig. 12 gezeigten Berechnungseinrichtung.

Bei dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Hörgerät setzt ein als Eingangswandler 12 wirkendes Mikrofon ein Schallsignal in ein elektrisches Signal um und leitet dieses an eine Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 weiter. Die Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 verstärkt das eingehende Signal und verarbeitet es, beispielsweise durch selektives Anheben oder Abschwächen bestimmter Frequenz- oder Lautstärkenbereiche. Das so verarbeitete Ausgabesignal 28 wird von einem als Ausgangswandler 14 dienenden Hörer ausgegeben.

An mindestens einer geeigneten Stelle der Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 wird ein Abgriffssignal 22 aus dem Signalpfad des Hörgerätes abgegriffen und einer Signalaufbereitungseinrichtung 16 zugeführt. Das Abgriffssignal 22 kann ferner Einzelsignale aufweisen, die von weiteren Eingangswandlern, von Bedienelementen oder von Sensoren zur Überwachung von Systemeigenschaften (beispielsweise der Batteriespannung) stammen.

Die Signalaufbereitungseinrichtung 16 bereitet das Abgriffssignal 22 geeignet auf, beispielsweise durch Gleichrichtung, Mittelwertbildung oder Ableitung nach der Zeit, um es einer Berechnungseinrichtung 20, die Fuzzy-Logik-Funktionen realisiert, als Eingabesignal 24 zuzuführen. Hinsichtlich der Ausgestaltung der Signalaufbereitungseinrichtung 16 sowie hinsichtlich der Einzelsignale, aus denen sich das Abgriffssignal 22 zusammensetzt, wird der Inhalt der EP-A-0 674 464 hiermit ausdrücklich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen.

Die Berechnungseinrichtung 20 weist einen Speicher 18 auf, der Zwischenergebnisse sowie gegebenenfalls Konfigurationsparameter der Berechnungs-

einrichtung 20 speichert. Die Berechnungseinrichtung 20 verarbeitet das ihr zugeführte Eingabesignal 24 auf die unten genauer beschriebene Weise nach den Prinzipien der Fuzzy-Logik und gibt das Ergebnis als Ergebnissignal 26 an die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 ab, deren Verstärkungs- und Übertragungseigenschaften durch das als Steuerungssignal wirkende Ergebnissignal 26 in weiten Grenzen veränderbar sind.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist lediglich die Berechnungseinrichtung 20 digital ausgeführt, während die anderen Baugruppen, bis auf gegebenenfalls erforderliche Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler, als analoge Schaltungen gebildet sind. In einer Ausführungsalternative sind jedoch die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10, die Signalaufbereitungsschaltung 16 und die Berechnungseinrichtung 20 im wesentlichen digital ausgeführt, und das Abgriffssignal 22, das Eingabesignal 24 und das Ergebnissignal 26 sind digitale Signale, die bevorzugt als aufeinanderfolgende Binärzahlen auf mehreren Leitungen parallel übertragen werden. In dieser Ausführungsalternative weist lediglich die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 einen Analog-Digital-Wandler für das vom Eingangswandler 12 stammende Signal und einen Digital-Analog-Wandler auf, der das an den Ausgangswandler 14 geleitete Ausgabesignal 28 erzeugt.

In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hörgerätes steuert das Ergebnissignal 26 die Übertragungscharakteristik der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 unmittelbar, indem durch die Einzelsignale des Ergebnissignals 26 einzelne Parameter der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10, beispielsweise die Verstärkung bestimmter Frequenzbänder oder Ansprech- und Abfallzeiten einer automatischen Verstärkungsregelung (automatic gain control - AGC), eingestellt werden.

In einer Ausführungsalternative weist die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 einen Speicher auf, der mehrere voreingestellte oder einprogrammierte Parametersätze enthält. Ein Parametersatz dieses Speichers wird, basierend auf dem Ergebnissignal 26, ausgewählt, beispielsweise dadurch, daß das digitale Ergebnissignal 26 als Speicheradresse dient.

In einer weiteren Ausführungsalternative weist die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 keinen unmittelbaren Signalpfad vom Eingangswandler 12 zum Ausgangswandler 14 auf. Der Signalpfad verläuft vielmehr von dem Eingangswandler 12 über einen ersten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 zur Signalaufbereitungseinrichtung 16, von dort zur Berechnungseinrichtung 20, von dort als Ergebnissignal 26 zu einem zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 und von dort als Ausgabesignal 28 zum Ausgangswandler 14. Im zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 wird das digitale Ergebnissignal 26 lediglich in ein analoges Signal umgewandelt und gegebenenfalls gefiltert.

Die in dem erfindungsgemäßen Hörgerät eingesetzte Fuzzy-Logik erlaubt die Verarbeitung von Signalen und Informationen nach unscharfen Vorschriften, einem sogenannten Regelsatz. Dieser Regelsatz kann beispielsweise wie folgt lauten:

- Regel 1: WENN (A ist groß) UND (B ist groß)
DANN (X ist groß) UND (Y ist groß)
- Regel 2: WENN (A ist klein) ODER (B ist groß)
DANN (X ist klein)
- Regel 3: WENN (A ist klein) UND (B ist klein)
DANN (X ist klein) UND (Y ist klein)

Der Ausdruck zwischen WENN und DANN wird als Prämisse bezeichnet; der Ausdruck rechts vom DANN wird als Konklusion bezeichnet. Die Teilausdrücke in Klammern werden entsprechend als Teilprämissen und Teilkonklusionen bezeichnet.

Am Beispiel dieses Regelsatzes werden im weiteren die einzelnen Teilfunktionen der Berechnungseinrichtung 20 erläutert.

Fig. 2 zeigt die konzeptuelle Struktur der Verarbeitung des oben angegebenen Regelsatzes. Sie besteht aus folgenden wesentlichen Teilfunktionen:

- 1) Fuzzifizierung 50 der scharfen Eingangsvariablen. Gleichzeitig wird dadurch der Erfüllungsgehalt der Teilprämissen ermittelt.
- 2) Auswertung 52 der Prämissen, d.h. Ermittlung des Erfüllungsgehaltes der Prämissen.
- 3) Auswertung der Teilkonklusionen, d.h. Ermittlung der Aktivierung der Teilkonklusionen. In der Darstellung von Fig. 2 ist dieser Schritt in die beiden Teilschritte Bestimmung 54 des Aktivierungsgrades der Teilkonklusionen und Bestimmung 56 der Aktivierung der Terme der Ausgangsvariablen unterteilt.
- 4) Akkumulation 58 der Ausgangsterme, d.h. Ermittlung der Aktivierung der Konklusionen.
- 5) Defuzzifizierung 60 der aktivierten Konklusionen. Dadurch werden wieder scharfe Ausgangsvariablen bestimmt.

Bei der erfindungsgemäßen digitalen Realisierung der Berechnungseinrichtung 20 dient die in Fig. 2 gezeigte Struktur lediglich zur konzeptuellen Darstellung einer Fuzzy-Logik-Berechnung, weil bei der tatsächlichen Implementierung eine beliebige Zuordnung der in Fig. 2 dargestellten Teilfunktionen zu einem oder mehreren Modulen der Berechnungseinrichtung 20 erfolgen kann.

Schritt 1) - Fuzzifizierung der Eingangsvariablen

Bei der Fuzzifizierung wird ermittelt, welchen Wert eine Zugehörigkeitsfunktion eines jeden linguistischen Terms der entsprechenden linguistischen Variablen bei dem aktuellen Wert der Eingangsvariablen besitzt.

Dies ist Fig. 3 beispielhaft dargestellt. Das Beispielregelwerk enthält zwei linguistische Variablen A und B mit je zwei linguistischen Termen, nämlich (A ist klein), (A ist groß) und (B ist klein), (B ist groß). Die in Fig. 3 gezeigten Graphen stellen die Zugehörigkeitsfunktionen dieser Terme dar: $\mu_{\text{klein}}(A)$, $\mu_{\text{groß}}(A)$ und $\mu_{\text{klein}}(B)$, $\mu_{\text{groß}}(B)$. Die Eingangswerte a und b werden auf die entsprechenden Werte $\mu_{\text{klein}}(A=a)$, $\mu_{\text{groß}}(A=a)$ und $\mu_{\text{klein}}(B=b)$, $\mu_{\text{groß}}(B=b)$ der Zugehörigkeitsfunktionen abgebildet.

Die in Fig. 4a bis Fig. 4c und Fig. 5a bis Fig. 5e gezeigten beispielhaften Zugehörigkeitsfunktionen lassen sich in drei Klassen einteilen:

- Völlig freier Verlauf der Zugehörigkeitsfunktion (Fig. 4a); eine Beschränkung ergibt sich - wie auch in den folgenden Klassen - lediglich durch die Quantisierung der Kurven. Jede Zugehörigkeitsfunktion muß - entsprechend der angewandten Quantisierung - in Form ihrer Einzelwerte abgespeichert werden. Dies ist relativ speicheraufwendig. Auch die Weiterverarbeitung ist rechenaufwendig.
- Linearer Verlauf des Funktionswertes zwischen beliebig angebbaren Eckwerten (Fig. 4b und Fig. 5a). Durch diese Einschränkung ergibt sich ein reduzierter Speicher- und Rechenaufwand. Jede Zugehörigkeitsfunktion kann, entsprechend der Anzahl M der Eckwerte, als eine Folge von x-y-Wertepaaren $(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_M, y_M)$ dargestellt werden.
- Linearer Verlauf des Funktionswertes zwischen maximal vier Eckwerten, als deren Ordinatenwerte nur 0 und 1 zulässig sind. Alle damit möglichen Kurvenverläufe sind in Fig. 4c dargestellt: linke Schulterfunktion 72, Trapezfunktion 70, Dreiecksfunktion 74, rechte Schulterfunktion 76. Diese Einschränkung ergibt eine optimale Reduzierung des Speicheraufwandes. Da maximal vier Eckwerte vorhanden sind und als y-Werte nur 0 und 1 verwendet werden, kann jede in diese Klasse fallende Zugehörigkeitsfunktion allein durch ihre vier x-Werte (x_1, x_2, x_3, x_4) eindeutig beschrieben werden. In Fig. 5b ist dies für die Trapezfunktion 70 gezeigt, in Fig. 5c für die linksseitige Schulterfunktion 72 (hierbei gilt $x_1 = x_2$), in Fig. 5d für die Dreiecksfunktion 74 (hierbei gilt $x_2 = x_3$) und in Fig. 5e für die rechtsseitige Schulterfunktion 76 (hierbei gilt $x_3 = x_4$).

Um bei der Fuzzifizierung den Erfüllungsgrad der Teilprämissen berechnen zu können, wird vor Beginn der Fuzzifizierung jeder Eingangswert auf die intern verwendete Abszisse normiert. Im weiteren wird davon ausgegangen, daß die Eingangswerte bereits normiert sind.

Im Falle des in Fig. 4a dargestellten freien Verlaufes der Zugehörigkeitsfunktion erfolgt die Ermittlung des Erfüllungsgrades durch Auslesen des dem entspre-

chenden x-Wert zugeordneten y-Wertes aus dem Speicher.

Bei der in Fig. 4b und Fig. 5a gezeigten linearisierten Zugehörigkeitsfunktion ist der Wert der Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{...}(V=v)$ nach folgender Vorschrift zu ermitteln:

1. Wenn $V < x_1$ ist, dann ist $\mu_{...}(V=v) = 0$.
2. Durchlaufe alle Werte $x_m = x_2, \dots, x_M$, bis gilt $x_m > V$. Dann berechne den Erfüllungswert nach der Vorschrift

$$\mu_{...}(V=v) = y_{m-1} + \frac{y_m - y_{m-1}}{x_m - x_{m-1}} * (V - x_{m-1})$$

und breche den Durchlauf ab.

3. Wenn bei obigem Durchlauf niemals die genannte Bedingung erfüllt worden ist, dann ist $\mu_{...}(V=v) = 0$.

Tritt im Regelwerk eine negierte Variable auf, so ist der Wert der inversen Zugehörigkeitsfunktion zu ermitteln. Dieser berechnet sich aus dem Wert der nicht invertierten Zugehörigkeitsfunktion zu:

$$\text{inv} [\mu_{...}(V=v)] = 1 - \mu_{...}(V=v).$$

Im Falle der in Fig. 4c und Fig. 5b bis Fig. 5e dargestellten weitestgehenden Vereinfachung der Zugehörigkeitsfunktionen lautet die - nun ebenfalls einfachere - Berechnungsvorschrift für den Wert der Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{...}(V=v)$:

1. Wenn $V < x_1$ ist, dann ist $\mu_{...}(V=v) = 0$ [1].
2. Wenn $x_2 > V$ ist, dann berechnet sich der Erfüllungsgrad nach der Vorschrift

$$\mu_{...}(V=v) = \frac{V - x_1}{x_2 - x_1} \left[\frac{x_2 - V}{x_2 - x_1} \right]$$

3. Wenn $x_3 > V$ ist, dann ist $\mu_{...}(V=v) = 1$ [0].
4. Wenn $x_4 > V$ ist, dann berechnet sich der Erfüllungsgrad nach der Vorschrift

$$\mu_{...}(V=v) = \frac{x_4 - V}{x_4 - x_3} \left[\frac{V - x_3}{x_4 - x_3} \right]$$

5. Wenn keine der genannte Bedingung erfüllt ist, dann ist $\mu_{...}(V=v) = 0$ [1].

Tritt im Regelwerk eine negierte Variable auf, so ist der Wert der inversen Zugehörigkeitsfunktion nach der oben angegebenen Formel zu ermitteln. Wahlweise können bei der Berechnung die oben in eckigen Klammern

angegebenen Werte verwendet werden.

Schritt 2) - Auswertung der Prämissen

Die in Schritt 1) berechneten Werte der Zugehörigkeitsfunktionen, die den Erfüllungsgraden der Teilprämissen (A ist groß), (B ist groß) und so weiter entsprechen, sind bei dem hier verwendeten Beispielsregelwerk durch linguistische UND- und ODER-Operatoren zu den Prämissen der einzelnen Regeln verknüpft.

Die Berechnung der UND- und ODER-Verknüpfungen der Teilprämissen geschieht bevorzugt durch die Berechnung des Minimums bzw. des Maximums der entsprechenden Erfüllungsgrade, wie dies in Fig. 6 gezeigt ist. Das Ergebnis dieser Operation ist der Erfüllungsgrad der jeweiligen Prämisse [(A ist groß) UND (B ist groß)], [(A ist groß) ODER (B ist groß)] und so weiter. Diese Berechnung erfolgt für alle Regeln.

Schritt 3) - Auswertung der Teilkonklusionen

Zur Auswertung einer Teilkonklusion wird in einem ersten Teilschritt der Aktivierungsgrad der Teilkonklusion bestimmt. Dabei gilt der Grundsatz, daß jede Teilkonklusion in dem Maße aktiviert wird, wie die ihr im Regelwerk zugeordneten Prämissen erfüllt sind.

Sofern eine Teilkonklusion im Regelwerk nur einmal erwähnt ist, ist ihr Aktivierungsgrad gleich dem Erfüllungsgrad der entsprechenden Prämisse. Ist eine Teilkonklusion in mehreren Regeln erwähnt, hängt ihr Aktivierungsgrad also von mehreren Prämissen ab, so müssen die Aktivierungsgrade der betreffenden Prämissen in geeigneter Weise miteinander verrechnet werden. Hierzu gibt es insbesondere die beiden in Fig. 7 dargestellten Möglichkeiten:

- Bildung des Maximums der Erfüllungsgrade der Prämissen, oder
- Bildung der (auf Eins) beschränkten Summe der Erfüllungsgrade der Prämissen.

Das Ergebnis dieser Operation ist der Aktivierungsgrad der Teilkonklusion. Diese Berechnung erfolgt für alle Teilkonklusionen.

In einem zweiten Teilschritt der Auswertung der Teilkonklusionen wird die Aktivierung der Terme der Ausgangsvariablen bestimmt. Jede Teilkonklusion aktiviert einen entsprechenden Term einer Ausgangsvariablen. Diese Terme werden durch ihre Zugehörigkeitsfunktionen beschrieben. Ihre Aktivierung, d.h. das Maß, mit dem sie aktuell zur Geltung kommen, entspricht einer Teilfläche unter dieser Zugehörigkeitsfunktion. Diese Teilfläche wiederum wird bestimmt vom (oben im ersten Teilschritt ermittelten) Aktivierungsgrad der Teilkonklusion. Vorzugsweise wird eine der beiden in Fig. 8 dargestellten Methoden verwendet, um aus dem Aktivierungsgrad einer Teilkonklusion

sion die Aktivierung des entsprechenden Terms zu ermitteln:

- Beschränkung der maximalen Werte der Zugehörigkeitsfunktion auf den Wert des Aktivierungsgrades, oder
- Multiplikation des Verlaufes der Zugehörigkeitsfunktion mit dem Wert des Aktivierungsgrades.

Diese Berechnung geschieht für alle Terme aller Ausgangsvariablen.

Schritt 4) - Akkumulation der Ausgangsterme

Jede linguistische Ausgangsvariable besteht üblicherweise aus mehreren Termen. Für jeden dieser Terme ist nun seine Aktivierung bestimmt worden. Die einzelnen aktivierten Terme einer jeden Ausgangsvariablen müssen jetzt in geeigneter Weise überlagert (akkumuliert) werden. Dazu sind bevorzugt die beiden in Fig. 9 gezeigten Methoden vorgesehen:

- Bildung des Maximums der die aktivierten Terme umgebenden Funktionsverläufe für jeden Abszissenwert, oder
- Addition der die aktivierten Terme umgebenden Funktionsverläufe für jeden Abszissenwert.

Diese Akkumulation geschieht für jede Ausgangsvariable.

Schritt 5) - Defuzzifizierung

Durch die Defuzzifizierung wird aus den akkumulierten Termen einer jeden Ausgangsvariablen ein scharfer Ausgangswert bestimmt. Die Operation der Defuzzifizierung wird also auf jede Ausgangsvariable angewandt. Hierzu sind die folgenden zwei Verfahren möglich:

- Bestimmung des Mittelwerts der Maxima (Fig. 10), oder
- Schwerpunktsbestimmung (Fig. 11).

Bei der in Fig. 10 dargestellten Art der Defuzzifizierung durch Bestimmung des Mittelwerts der Maxima berechnet sich der scharfe Ausgangswert x als Mittelwert der Positionen der Maxima von $f_{\text{aktiv}}(X)$.

Bei der in Fig. 11 veranschaulichten Schwerpunktsmethode wird zur Berechnung des scharfen Ausgangswertes x auf die akkumulierten Terme einer jeden Ausgangsvariablen folgendes Berechnungsverfahren angewandt:

$$x = \frac{\int_{X_{\min}}^{X_{\max}} X * f_{\text{aktiv}}(X) * dX}{\int_{X_{\min}}^{X_{\max}} f_{\text{aktiv}}(X) * dX}$$

Dies entspricht der Berechnung der x -Komponente des Flächenschwerpunktes.

Bei einer digitalen Realisierung der Berechnung sind die Integrationen durch Summenbildungen zu ersetzen. Es gilt dann:

$$x = \frac{\sum_{X_{\min}}^{X_{\max}} X * f_{\text{aktiv}}(X)}{\sum_{X_{\min}}^{X_{\max}} f_{\text{aktiv}}(X)}$$

Um die Berechnung zu verkürzen, wird der Bereich, über den integriert bzw. summiert wird, bevorzugt auf das Intervall zwischen $X_{\min}$ und $X_{\max}$ beschränkt; also auf das Intervall zwischen dem kleinsten und dem größten X -Wert, für den $f_{\text{aktiv}}(X) > 0$ gilt. Diese Information fällt bei der Akkumulation der Ausgangsterme an.

Das im folgenden beschriebene Verfahren erlaubt eine aufwandsreduzierte Berechnung der Schritte von der Aktivierung der Terme der Ausgangsvariablen bis zur Defuzzifizierung.

Wenn aus dem Aktivierungsgrad der Konklusion die Aktivierung des zugehörigen Ausgangsterms ermittelt wird, so läßt sich diese Operation durch zwei Abbildungsfunktionen beschreiben: Der Aktivierungsgrad der Konklusion wird zum einen auf die aktivierte Fläche F_n des Ausgangsterms abgebildet, und zum anderen wird er auf eine Schwerpunktslage S_n dieser aktivierten Fläche abgebildet. Beide Abbildungsvorschriften müssen nicht zur Laufzeit des Systems ausgewertet werden, da sie nur abhängig sind von den Ausgangsternen und der in Fig. 8 dargestellten Methode der Umrechnung des Aktivierungsgrades der Konklusion in die Aktivierung der Terme (Maximumbildung oder Multiplikation).

Fig. 11 verdeutlicht den beschriebenen Übergang zu zwei getrennten Abbildungsvorschriften. Die Akkumulation der Ausgangsterme und die Defuzzifizierung geschehen nun gleichzeitig durch Ausführung der Berechnungsvorschrift

$$x = \frac{\sum_{n=1}^N S_n * F_n}{\sum_{n=1}^N F_n}$$

für jede Ausgangsvariable. Hierbei steht N für die Anzahl der Terme der Ausgangsvariablen. In dem in Fig. 11 gezeigten Beispiel ergibt sich damit ein Gesamtschwerpunkt

$$x = (S_1 \cdot F_1 + S_2 \cdot F_2) / (F_1 + F_2).$$

Diese Berechnungsmethode beinhaltet implizit die Akkumulation der Terme durch die Methode der Addition.

In Fig. 12 ist eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Berechnungseinrichtung 20 gezeigt, welche die beschriebenen Fuzzy-Logik-Funktionen ausführt. Die Berechnungseinrichtung 20 weist sechs Berechnungsmodule 30 auf, die über fünf Zwischenspeicher 32 in Reihe hintereinandergeschaltet sind. Jedem Berechnungsmodul 30 ist ferner ein Speichermodul 34 mit je einem Konfigurationseingang 36 zugeordnet. Ein Steuermodul 40 ist mit allen Berechnungsmodulen 30 sowie mit einem Arbeitsspeicher 42 verbunden, auf den von außen über einen Anschluß 44 zugegriffen werden kann.

Jedem in Fig. 2 dargestellten Teilfunktionstyp 50, 52, 54, 56, 58 und 60 entspricht eines der Berechnungsmodule 30. Das erste Berechnungsmodul 30 erhält die scharfen Eingangswerte als Eingabesignal 24; das letzte Berechnungsmodul 30 gibt die berechneten scharfen Ergebniswerte als Ergebnissignal 26 aus. Der Transfer der Zwischenergebnisse zwischen den Berechnungsmodulen 30 erfolgt über die Zwischenspeicher 32.

In dem jedem Berechnungsmodul 30 zugeordneten Speichermodul 34 können interne Zwischenergebnisse abgelegt werden. Jedes Speichermodul 34 kann überdies Konfigurationsinformationen für die von dem jeweiligen Berechnungsmodul 30 ausgeführte Teilfunktion enthalten. Solche Konfigurationsinformationen können beispielsweise beim ersten Berechnungsmodul 30, das das Eingabesignal 24 erhält, die Zugehörigkeitsfunktionen der Eingangsvariablen sein. Zur Konfiguration der Fuzzy-Logik-Funktionen der Berechnungseinrichtung 20 sind die Speichermodule 34 über die Konfigurationseingänge 36 von außen beschreibbar.

Das Steuermodul 40 koordiniert den Gesamt Ablauf und die Zusammenarbeit der Berechnungsmodule 30. Beispielsweise kann die Bearbeitungszeit in den einzelnen Berechnungsmodulen 30 unterschiedlich sein. Aufgabe des Steuermoduls 40 ist es dann, jedem Berechnungsmodul 30 mitzuteilen, wenn die Zwischenergebnisse des vorhergehenden Berechnungsmoduls 30 zur Weiterverarbeitung anstehen.

Auch in dem dem Steuermodul 40 zugeordneten Arbeitsspeicher 42 können Zwischenergebnisse und Konfigurationsinformation abgelegt werden.

Die Realisierung der Berechnungsmodule 30 sowie der sonstigen Bauteile der Berechnungseinrichtung 20 in digitaler Schaltungstechnik ergibt sich in bekannter Weise unmittelbar aus der Beschreibung der entspre-

chenden Teilfunktionen. Sie kann durch Schaltnetze, Schaltwerke oder eine Kombination aus beiden geschehen. Ihre genaue Funktion kann durch Konfigurationsinformationen festgelegt werden.

Die Anzahl der in der Berechnungseinrichtung 20 vorgesehenen Berechnungsmodule 30 braucht nicht notwendigerweise sechs zu sein. Es können mehr oder weniger Berechnungsmodule 30 vorhanden sein, um die Berechnung der Fuzzy-Logik-Funktionen feiner oder gröber zu unterteilen. Beispielsweise können fünf Berechnungsmodule 30 entsprechend den oben beschriebenen Schritten 1) bis 5) eingesetzt werden, oder nur ein einziges Berechnungsmodul 30', wie dies in Fig. 14 dargestellt ist.

Fig. 13 zeigt eine Ausführungsvariante der Berechnungseinrichtung 20. Alle in Fig. 12 dargestellten Zwischenspeicher 32 und Speichermodule 34 sowie der Arbeitsspeicher 42 sind hier zu dem einzigen Speicher 18 zusammengefaßt. Dies erlaubt eine rationellere Verwendung des Speicherplatzes, da er beliebig partitioniert und den einzelnen Modulen nach Bedarf zugeordnet werden kann. Auch müssen so Informationen, welche von verschiedenen Modulen benötigt werden, nur einmal im Speicher 18 abgelegt werden.

Fig. 14 zeigt eine weitere Ausführungsvariante der Berechnungseinrichtung 20. Hier sind alle Berechnungsmodule 30 zu einem einzigen Berechnungsmodul 30' zusammengefaßt. Wird dieses Berechnungsmodul 30' zusätzlich möglichst weitgehend als programmierbares Operationswerk ausgelegt, so kann seine Rechenleistung beliebig partitioniert und den einzelnen Teilfunktionen zugeordnet werden. Dies gewährleistet einen optimalen Datendurchsatz durch das Gesamtsystem.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung haben die Berechnungsmodule 30 (oder das Berechnungsmodul 30') Zugriff auf ein vorzugsweise festverdrahtetes Modul zur Bestimmung des Minimums und/oder des Maximums zweier oder mehrerer Binärzahlen. Dies ist vorteilhaft, weil die Bildung des Minimums und des Maximums zwei in vielen Fuzzy-Logik-Teilfunktionen vorkommende Grundfunktionen sind.

Patentansprüche

1. Hörgerät mit einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), die einerseits mit einem Eingangswandler (12) verbunden ist und andererseits einem Ausgangswandler (14) ein Ausgabesignal (28) zuführt, sowie mit einer Berechnungseinrichtung (20), die Fuzzy-Logik-Funktionen realisiert, auf ein an der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffenes Abgriffssignal (22) anspricht und ein Ergebnissignal (26) liefert, das der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zugeführt wird und deren Ausgabesignal (28) beeinflusst, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest die Berechnungseinrichtung (20) in digitaler Schaltungstechnik aus-

geführt ist.

2. Hörgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Signalpfad zwischen dem Eingangswandler (12) und dem Ausgangswandler (14) aufweist, dessen Verstärkungs- und Übertragungscharakteristik durch das Ergebnissignal (26) der Berechnungseinrichtung (20) beeinflussbar ist. 5
3. Hörgerät nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Speicher aufweist, in dem mehrere Sätze von Verstärkungs- und Übertragungsparametern abgelegt sind, und daß das Ergebnissignal (26) der Berechnungseinrichtung (20) zum Auswählen eines dieser Parametersätze dient. 15
4. Hörgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Signalpfad des Hörgerätes von dem Eingangswandler (12) über einen ersten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), die Berechnungseinrichtung (20) und einen zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zu dem Ausgangswandler (14) verläuft. 20 25
5. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Signalaufbereitungseinrichtung (16) vorgesehen ist, die das von der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffene Abgriffssignal (22) aufbereitet und als ein Eingabesignal (24) der Berechnungseinrichtung (20) zuführt. 30
6. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Analog-Digital-Wandler und einen Digital-Analog-Wandler aufweist, und daß die restlichen Baugruppen der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) und, wenn vorhanden, die Signalaufbereitungseinrichtung (16) vollständig in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt sind. 35 40
7. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungseinrichtung (20) ein Steuermodul (40), mindestens einen Speicher (18; 32, 34, 42) und mindestens ein Berechnungsmodul (30; 30') aufweist. 45 50
8. Hörgerät nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Berechnungseinrichtung (20) ein eigenes Berechnungsmodul (30) und/oder ein eigenes Speichermodul (34) für jeden Schritt eines Verfahrens zur Realisierung der Fuzzy-Logik-Funktionen vorgesehen ist. 55
9. Hörgerät nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch**

gekennzeichnet, daß in der Berechnungseinrichtung (20) mehrere hintereinandergeschaltete Berechnungsmodule (30) sowie mindestens ein Zwischenspeicher (32) für die Verbindung von aufeinanderfolgenden Berechnungsmodulen (30) vorgesehen sind.

10. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungseinrichtung (20) dazu eingerichtet ist, die Fuzzy-Logik-Funktionen in den Teilschritten

- Fuzzyfizierung (50) von scharfen Eingangsvariablen,
- Auswertung (52) von Prämissen,
- Auswertung (54, 56) von Teilkonklusionen,
- Akkumulation (58) von Ausgangstermen, und
- Defuzzyfizierung (60)

zu realisieren.

11. Hörgerät nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungseinrichtung (20) dazu eingerichtet ist, bei der Fuzzyfizierung (50) Zugehörigkeitsfunktionen zu verwenden, deren Funktionswert zwischen maximal vier Eckwerten jeweils linear verläuft, wobei die Ordinatenwerte der maximal vier Eckwerte jeweils entweder 0 oder 1 betragen.

12. Hörgerät nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungseinrichtung (20) dazu eingerichtet ist, die Akkumulation (58) der Ausgangsterme und die Defuzzyfizierung (60) für jede Ausgangsvariable gleichzeitig durch Ausführen der Berechnungsvorschrift

$$x = \frac{\sum_{n=1}^N S_n * F_n}{\sum_{n=1}^N F_n}$$

zu realisieren, wobei für jede Ausgangsvariable die Anzahl der Ausgangsterme dieser Ausgangsvariablen durch N bezeichnet wird, die aktivierte Fläche des n-ten Ausgangsterms durch F_n und die Schwerpunktslage dieser Fläche durch S_n .

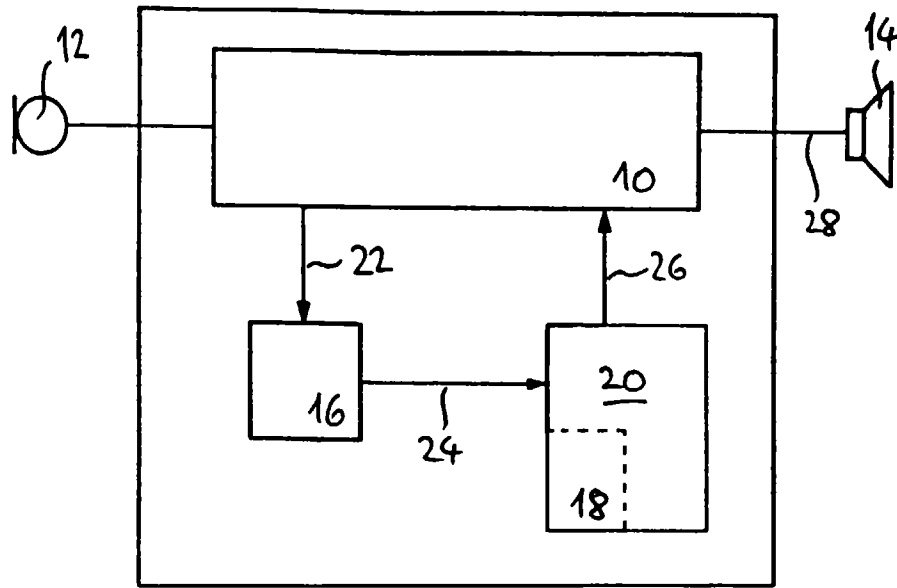


Fig. 1

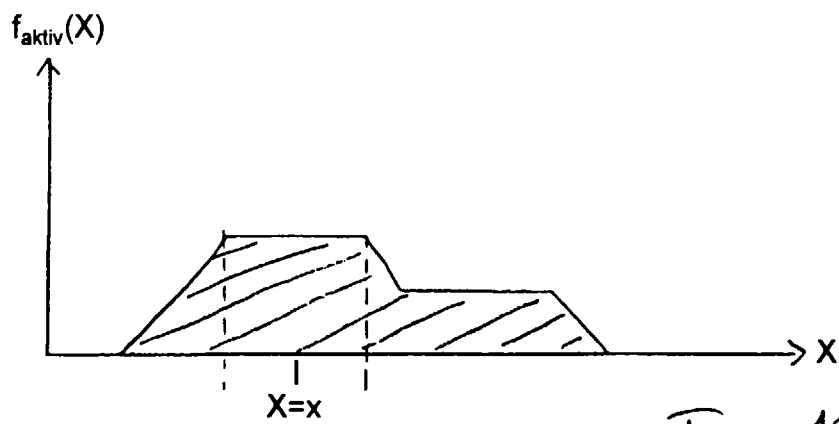


Fig. 10

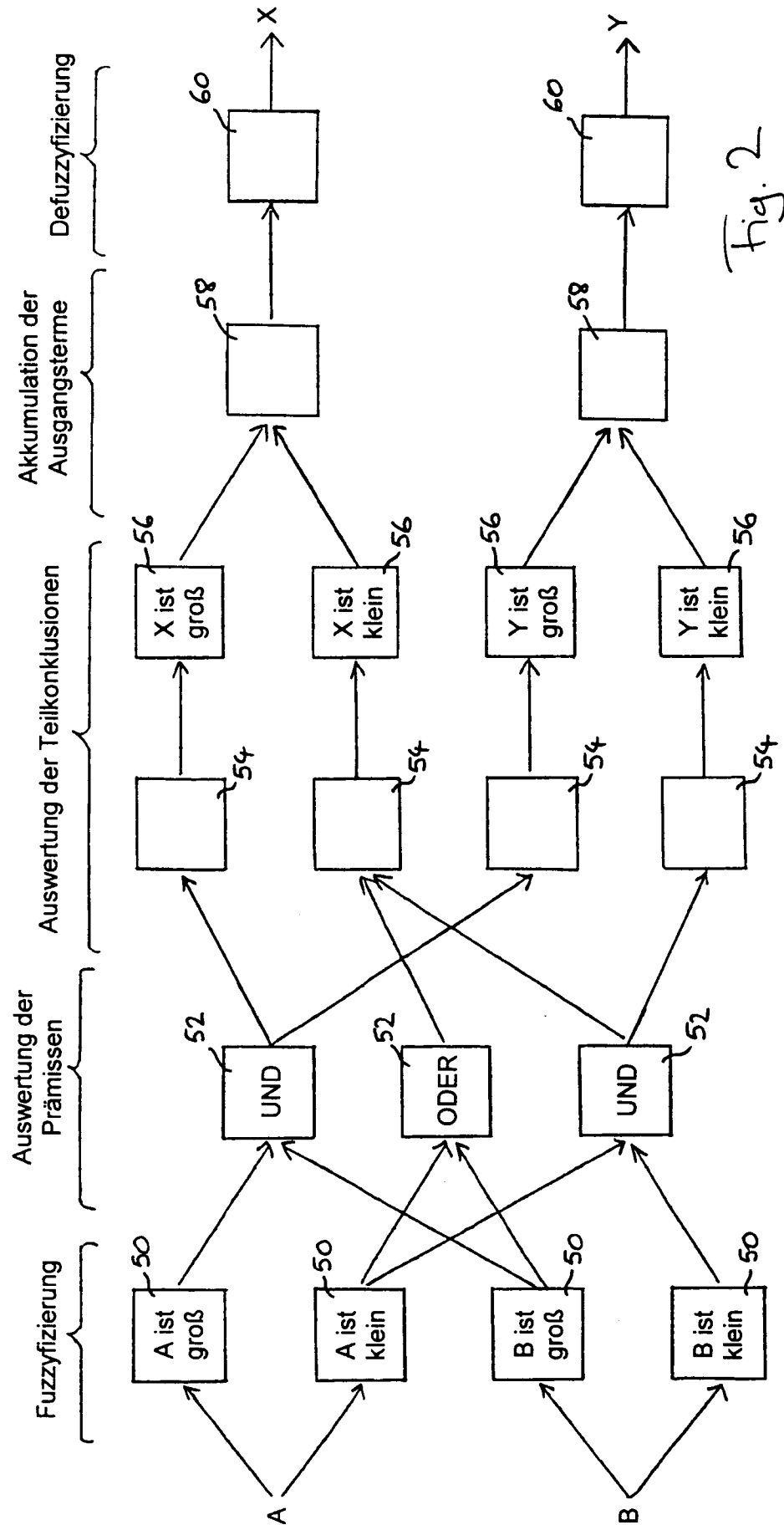


Fig. 2

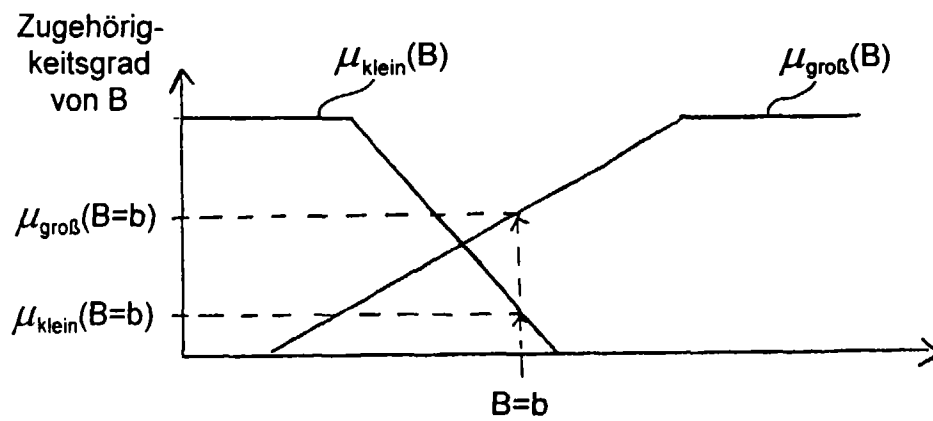
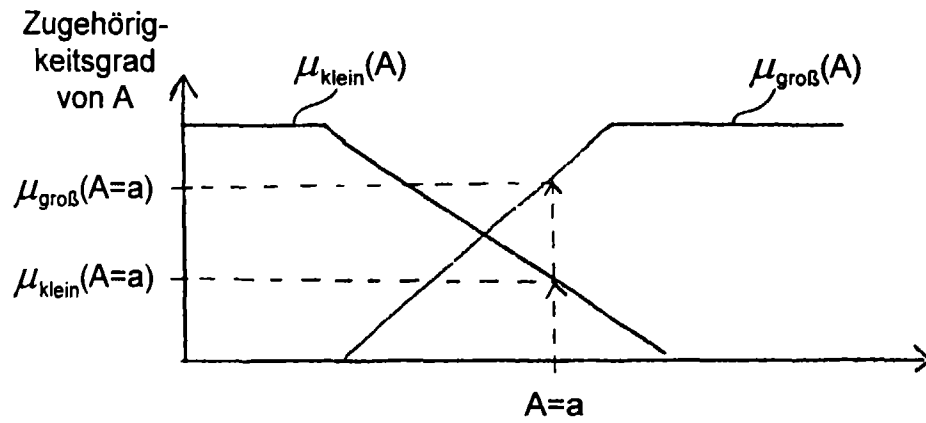
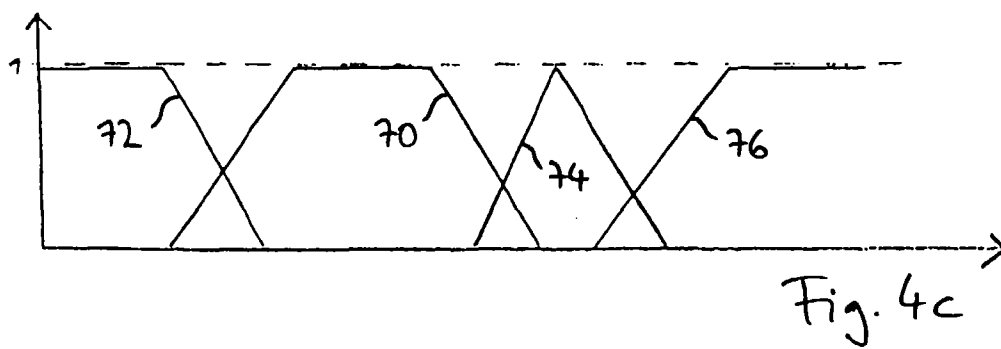
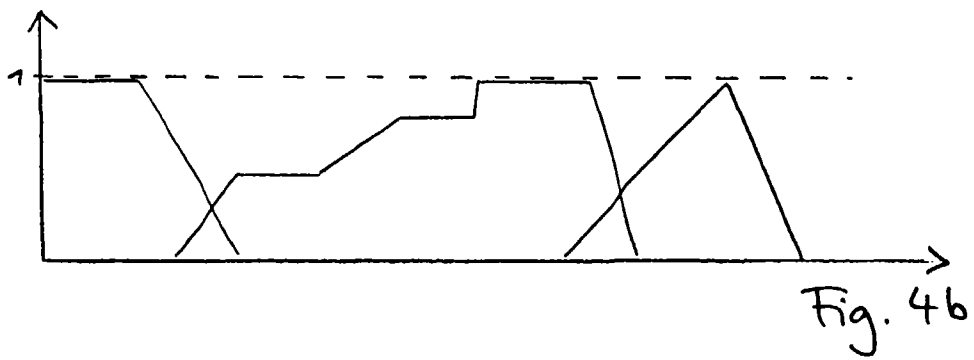
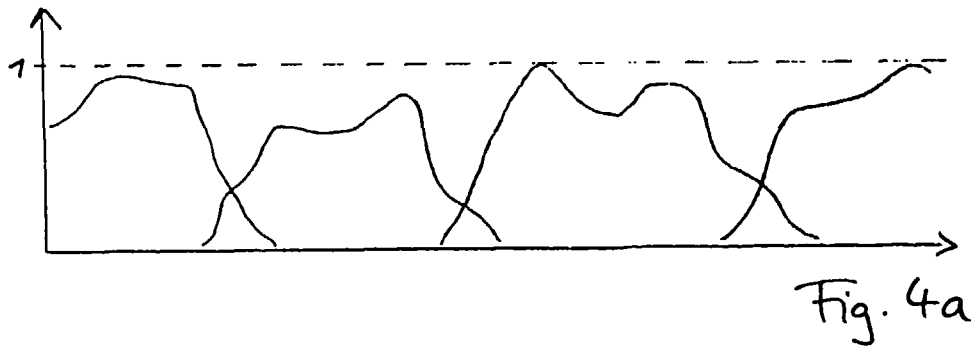
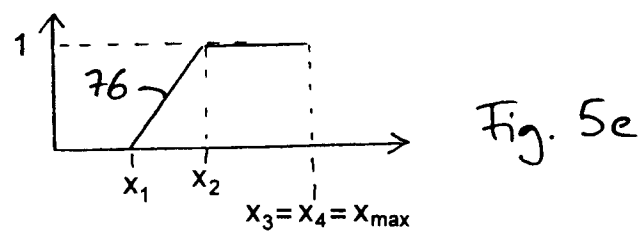
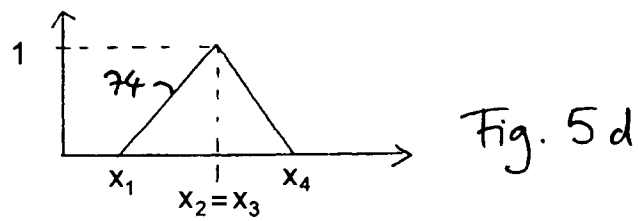
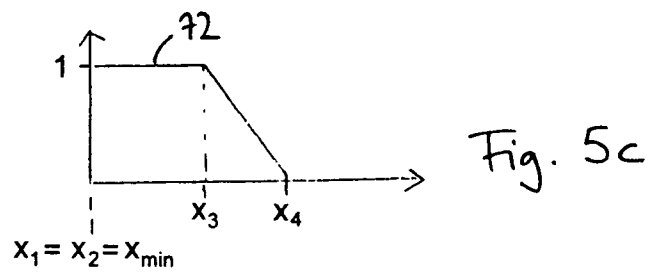
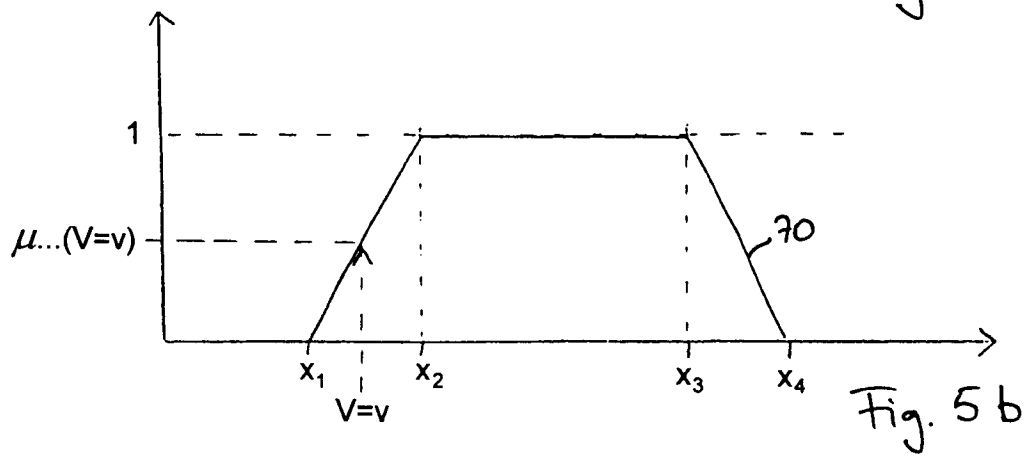
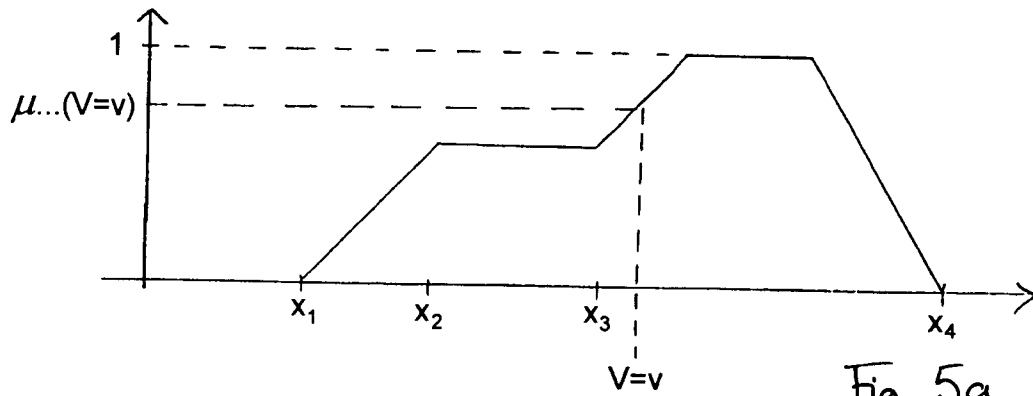


Fig. 3





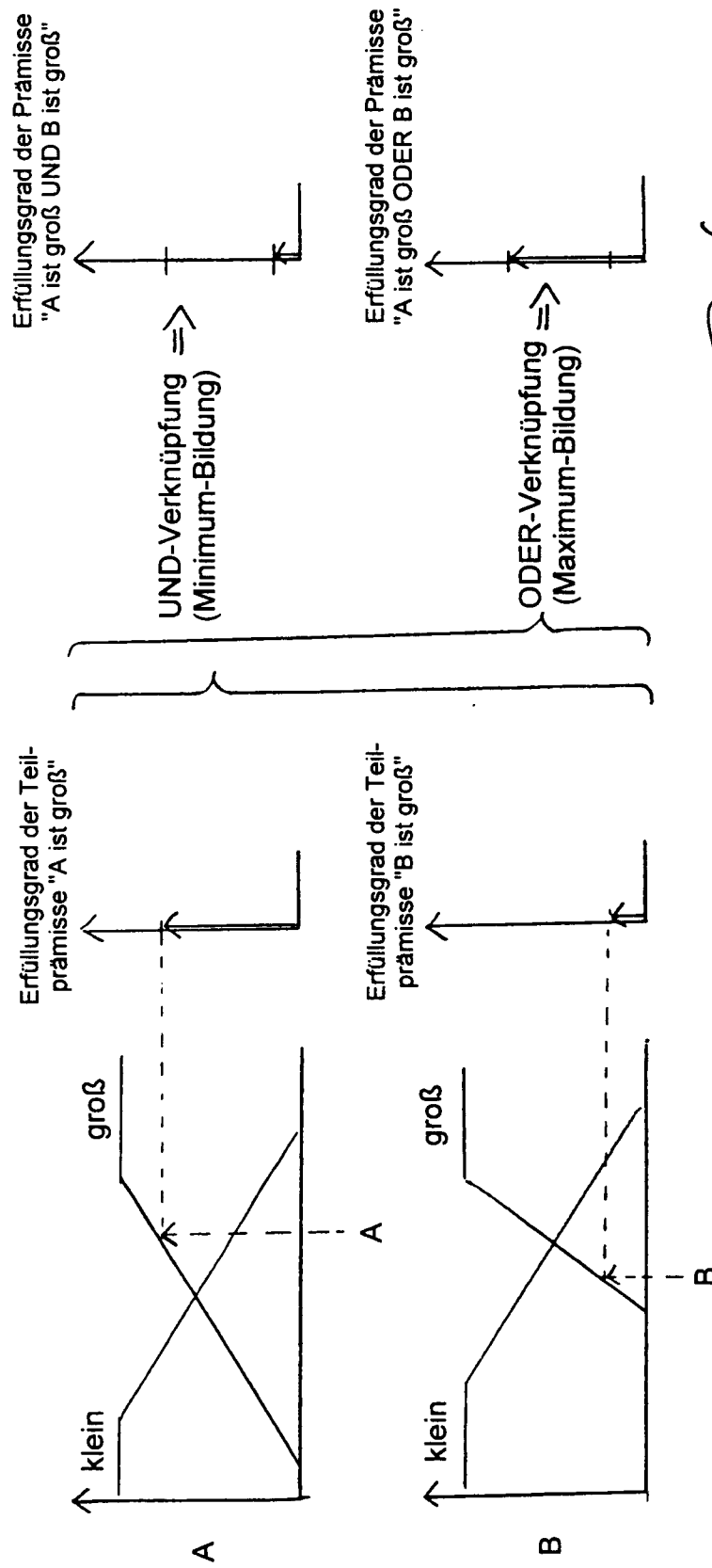


Fig. 6

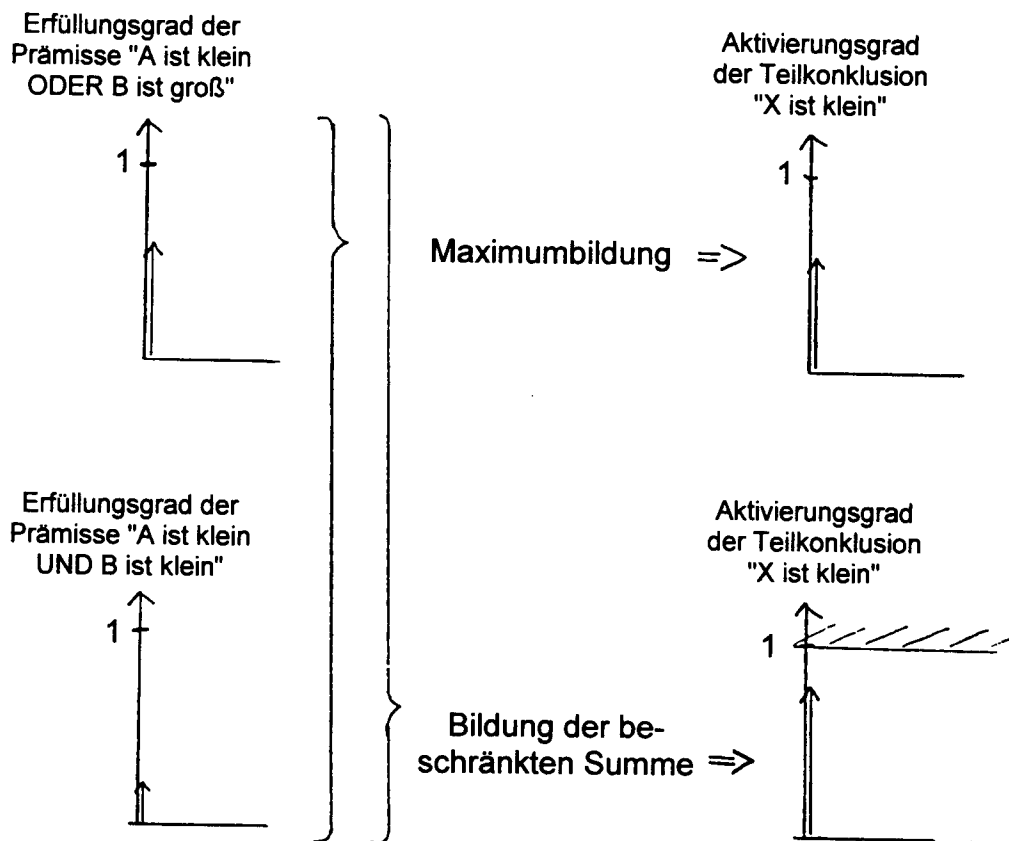


Fig. 7

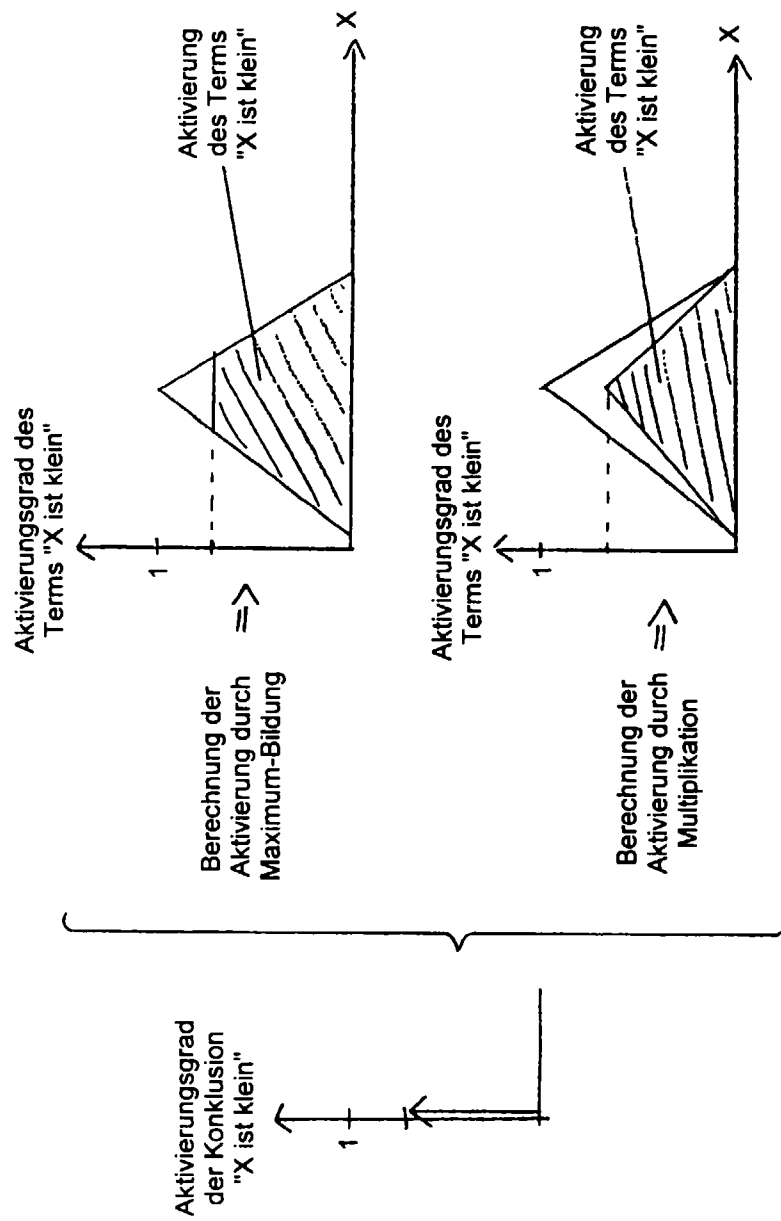
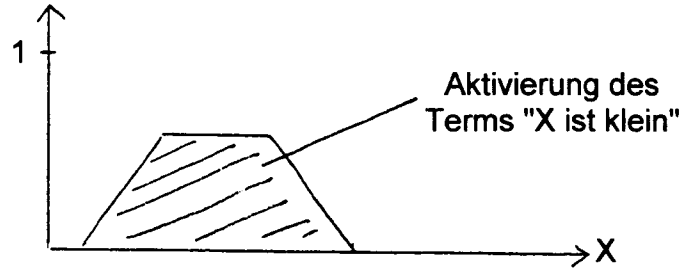
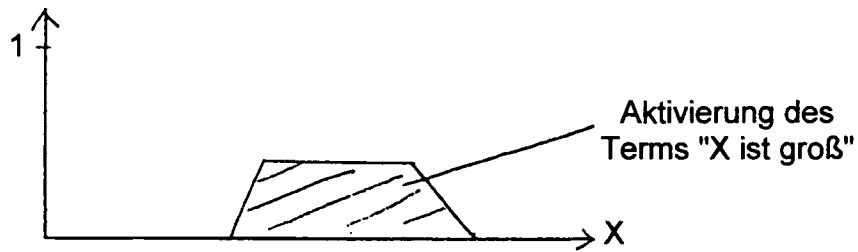


Fig. 8

Aktivierungsgrad des
Terms "X ist klein"



Aktivierungsgrad des
Terms "X ist groß"



Akkumulation der Terme
durch Maximum-Bildung

Akkumulation der Terme
durch Addition

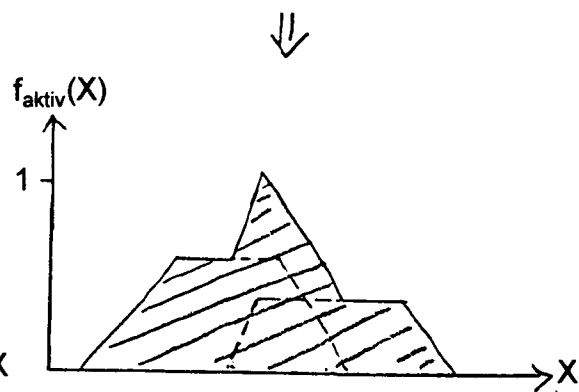
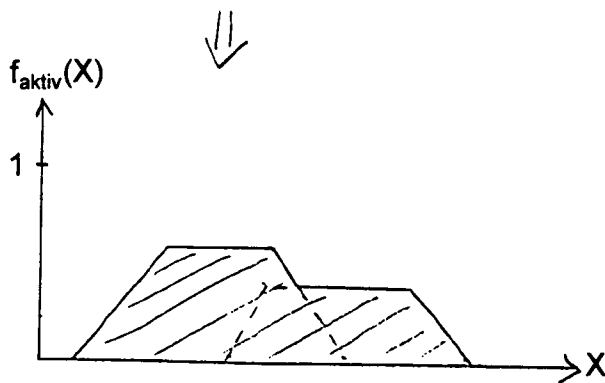


Fig. 9

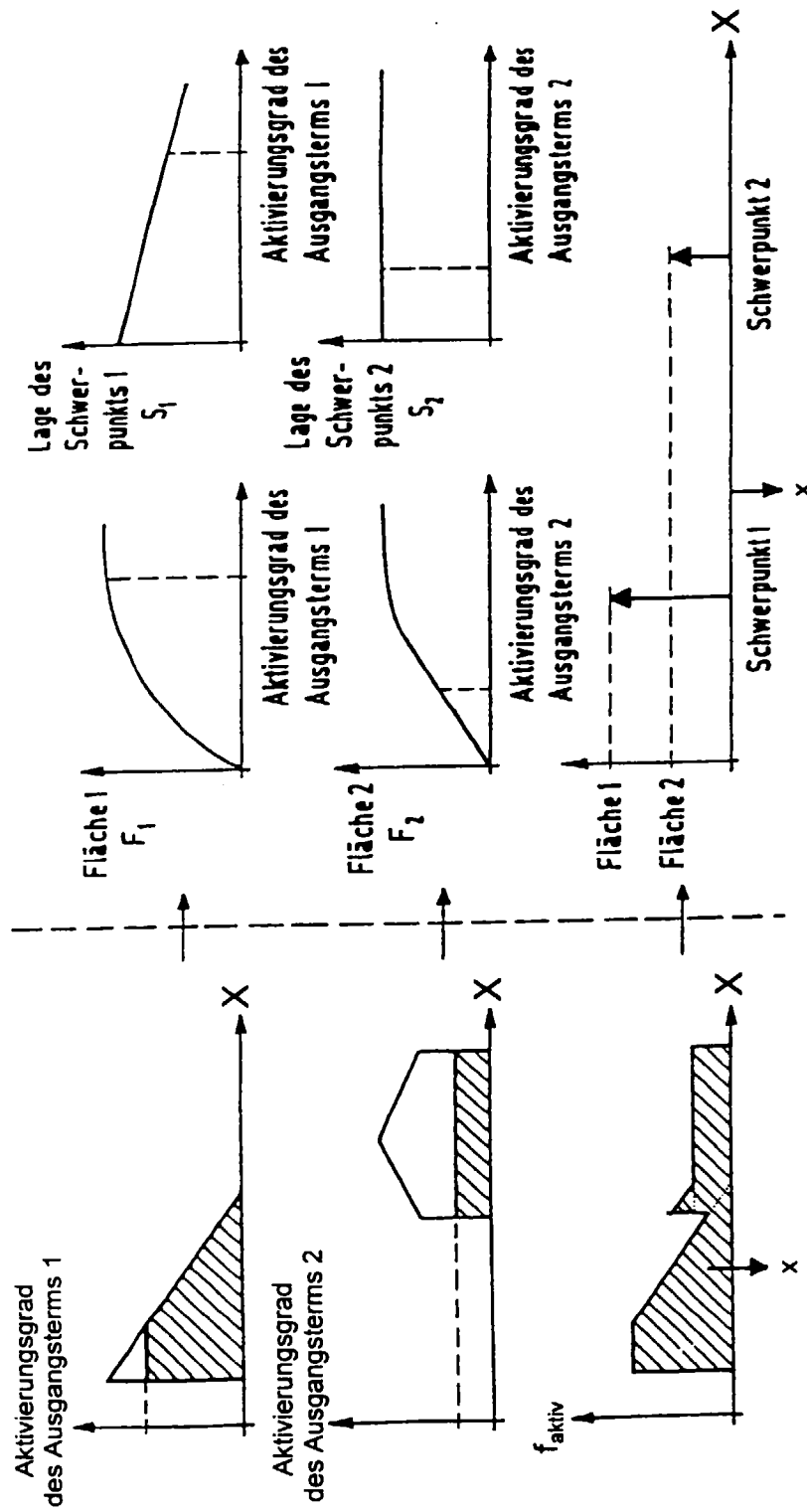


Fig. 11

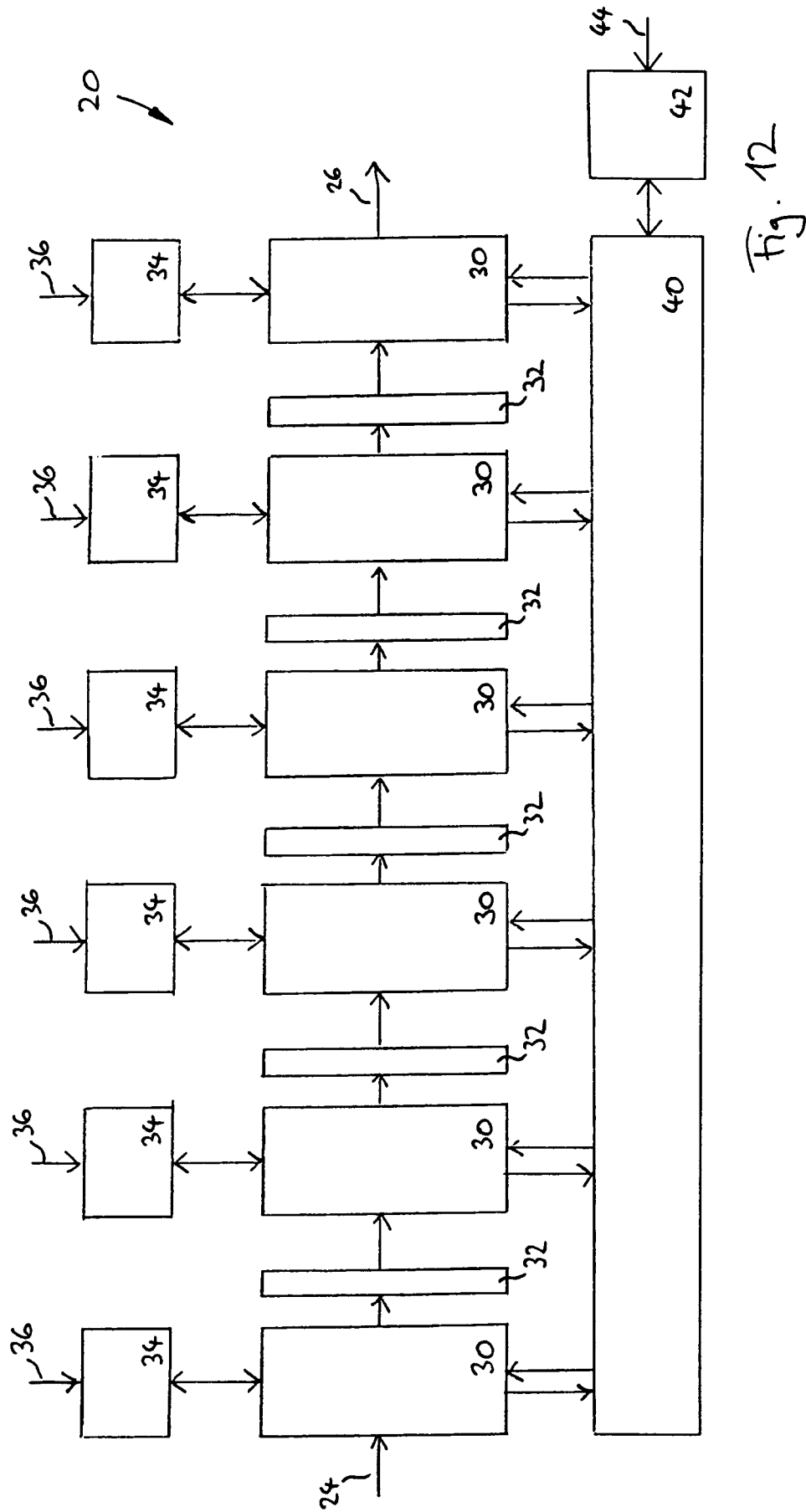


Fig. 12

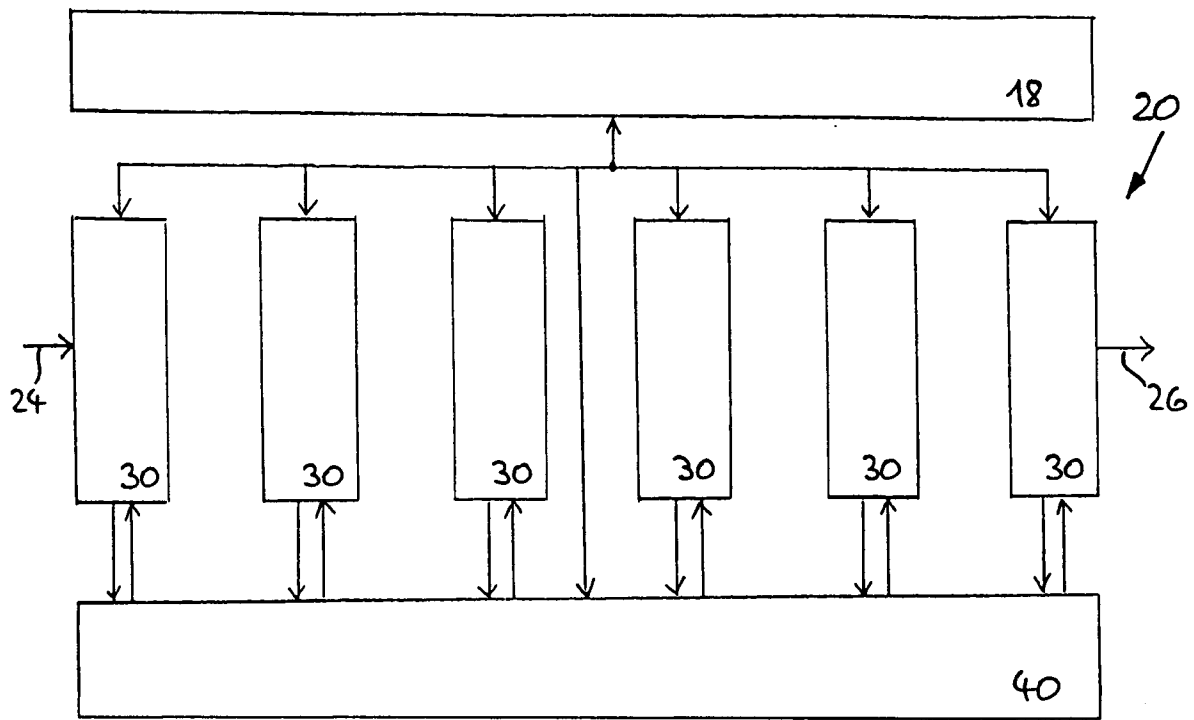


Fig. 13

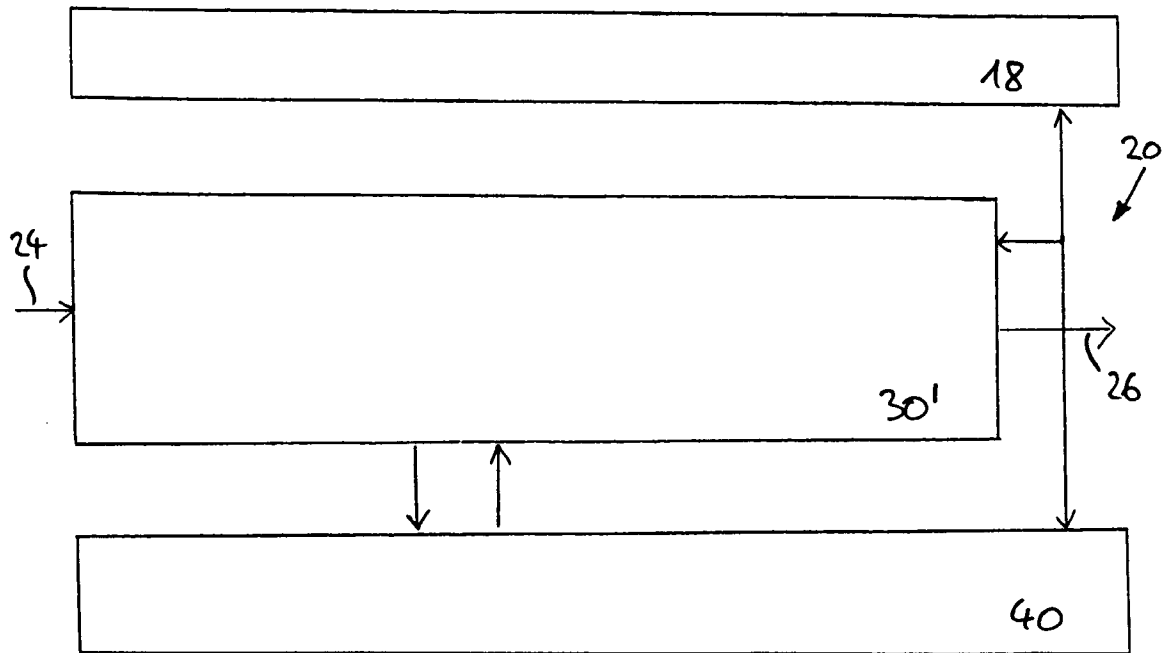


Fig. 14



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 96 11 0068

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D,Y	EP-A-0 674 464 (SIEMENS)	1,2,7,8,12	H04R25/00
A	* Spalte 1, Zeile 1-11 * * Spalte 1, Zeile 52 - Spalte 1, Zeile 52 * * Spalte 3, Zeile 49 - Spalte 12, Zeile 30 *	3-6,9-11	
Y	EP-A-0 674 462 (SIEMENS)	1,2,7,8,12	
A	* Spalte 1, Zeile 1-10 * * Spalte 1, Zeile 35 - Spalte 2, Zeile 5 * * Spalte 2, Zeile 20 - Spalte 6, Zeile 35 *	5,9-11	
Y	WO-A-93 05471 (SIEMENS)	1	
A	* Seite 1, Zeile 11-19 * * Seite 2, Zeile 14 - Seite 8, Zeile 14 *	8,10,11	
A	DE-A-44 39 505 (SIEMENS) * Spalte 2, Zeile 51 - Spalte 6, Zeile 30 *	1,10,11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
A	US-A-5 361 325 (TAKAHASHI) * Spalte 2, Zeile 25 - Spalte 6, Zeile 56 *	1,10,11	H04R G06C G05B G06F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 10.Dezember 1996	Prüfer Zanti, P
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)