



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

ISSN 0433-6461

(11)

210 501

Int.Cl.³

3(51) G 06 F 15/18

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 06 F/ 2444 897

(22) 02.11.82

(44) 13.06.84

(71) VEB ROBOTRON ZFT, KARL-MARX-STADT, DD

(72) LISS, EBERHARD, DIPL.-ING., DD

(54) ASSOZIATIVER ERFAHRUNGSSPEICHER FUER INTELLIGENTE AUTOMATEN

(57) Die Erfindung ist für lernfähige Automaten, adaptive Steuerungen, assoziierende Erkennungseinrichtungen und Beratungseinheiten für die Entscheidungsfindung im Mensch-Maschine-Dialog anwendbar. Die Aufgabe der Erfindung besteht im Aufzeigen der Struktur- und Funktionsprinzipien eines „lernfähigen“ assoziativen Erfahrungsspeichers zum Implementieren bedingter logischer Verknüpfungen und/oder zum assoziativen Einkoppeln von Signalen in Übertragungskanäle. Die Lösung besteht im wesentlichen darin, daß mindestens ein Übertragungskanal für assoziierbare Informationen mit zustandsveränderlichen Koppeleinheiten verbunden ist, daß der Aufbau oder Abbau von Assoziationen abhängig von der Bedingung implementiert wird, daß die Koinzidenz von Signalereignissen festgestellt und bewertet wird und daß mindestens ein Übertragungskanal für Schlüsselinformationen mit einer oder mehreren Koppeleinheiten verbunden ist. Weitere Merkmale beziehen sich auf Koppeleinheiten zur Implementierung konvergierender Kausalitätsbeziehungen und mögliche Rückkopplungen und Verbindungen von Koppeleinheiten mit besonderen Übertragungskanälen und auf Mittel zur zeitlichen und/oder häufigkeitsmäßigen Bewertung des Koinzidenzsignals für den Übergang der Koppeleinheit in den Zustand „Verbindung hergestellt“. Ein Beispiel einer Koppeleinheit wird angegeben. Fig. 3

Titel der Erfindung

Assoziativer Erfahrungsspeicher für Intelligente Automaten

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist für lernfähige Automaten (vorzugsweise mit künstlichem Intellekt), adaptive Prozeß-, Maschinen- und Robotersteuerungen, assoziierende Erkennungseinrichtungen und Beratungseinheiten zum Darstellen von Wissen für die intelligente Entscheidungsfindung im Mensch-Maschine-Dialog anwendbar. Sie dient besonders als Teilsystem von Intelligen-ten Automaten (vgl. WP 145 436, WP 149 723, WP 153 744 und WP 234 948/8) zum strukturellen Speichern und lerntypischen Verwerten von Wissen, das durch Kenntniserwerb erweiterbar ist. Sie hat den Charakter eines lernfähigen Zuordners oder Parallel-Assoziativspeichers (vgl. Zuordnungskomplexe in WP 145 338, WP 145 436 und WP 234 948/8) mit der Fähigkeit zum strukturellen Lernen und zum Implementieren paralleler be-dingter logischer Verknüpfungen bzw. bedingter Zuordnungen für die lerntypische Informationsverarbeitung durch Assozi-ieren aus Erfahrung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Erfindung bezieht sich auf das vom Erfinder in der Patent-schrift 145 810 (Kl. G06F 15/18) definierte Verfahren zur assoziativen Einkopplung von Signalen in Übertragungskanäle und auf angeführte Patente des Erfinders. Bekannt sind Asso-ziativspeicher, aus denen durch Inhaltsadressierung oder Suchoperationen mit vergleichbaren Merkmalen (z. B. Kenn-wörtern) assoziierte Daten parallel oder seriell lesbar sind. Solche Speicher dienen als besondere Datenspeicher für Com-puter. Sie werden zumeist mit wahlfreiem Zugriff realisiert

und sind gekennzeichnet durch die selektive Adressierung von einzelnen Speicherplätzen und das alternative Schreiben und Lesen von Daten (z. B. Zeichen oder Wörtern). Im Unterschied dazu werden durch die Erfindung die in WP 234 948/8 vom Erfinder definierten Prinzipien des "strukturellen Lernens" und "Assoziierens aus Erfahrung" angewendet.

Erfindungsgemäß werden die durch Konditionierungen während der Informationsverarbeitung erworbenen "Kenntnisse" als aufgebaute Kausalitätsbeziehungen zwischen verifizierbaren Invarianten (z. B. Signalwerten, Signalwertsätzen oder Daten) durch konditionierte Assoziationen (Verbindungen) strukturell gespeichert. Mit den Invarianten, die Stützinformationen bzw. Begriffe kausaler (semantischer) Begriffsnetze darstellen, werden das datenflußgesteuerte Assoziieren und Verifizieren von assoziierbaren Informationen in Zuordnung zu parallelen Schlüsselinformationen implementiert.

Die erfindungsgemäße Speicher- und Verarbeitungsfunktion des assoziativen Erfahrungsspeichers (als "Gedächtnissystem") resultiert aus der Konditionierung bzw. Konsolidierung von verteilten Assoziationen für Beziehungen (d. h. verteilte Speicherung) simultan zu parallelen bedingten logischen Verknüpfungen (d. h. Operationen) der Invarianten, d. h. aktueller Werte der binären oder mehrwertigen Variablen. Vorzugsweise werden parallele Assoziationen für bedingte Zuordnungen implementiert. Die Erfindung hat den Charakter einer "lernfähigen" Zuordnungseinheit, die im Vergleich zu konventionellen Assoziativspeichern ohne sukzessive Adressierungs-, Vergleichs- und Suchoperationen für Lesevorgänge auskommt.

Bekannte lernfähige Zuordner sind "lernende" Klassifikatoren (z. B. Lernmatrix von K. Steinbuch). Sie implementieren die Konditionierung von Zuordnungen entsprechend der bedingten Zählhäufigkeit und summieren gewichtete Einflüsse auf Klassensignale, so daß durch Extremwertbestimmung nach dem Maximumprinzip die Einordnung der zu klassifizierenden Invariantsätze in jeweils eine Klasse optimiert werden kann.

Erfindungsgemäß wird die Konditionierung von disjunkten Assoziationen für parallele bedingte Verknüpfungen abhängig von der zeitlichen und/oder häufigkeitsmäßigen Bewertung von Koinzidenzsignalen implementiert, ohne, daß Zähler zur Bestimmung und Bewertung der relativen Häufigkeit der Konditionierung benötigt werden.

Ziel der Erfindung

Das allgemeine Ziel der Erfindung ist die technische Simulation des Kenntniserwerbs und möglicherweise der Hypothesenbildung durch das "Erfassen" bzw. "Einbilden" von Kausalitätsbeziehungen zwischen Invarianten (d. h. strukturelles Lernen analog dem Einspeichern von Erfahrungen bzw. Annahmen durch Änderungen oder Erweiterungen der logischen Struktur). Gleichzeitig soll das assoziative Erzeugen von Informationen möglich sein, die mit mindestens einer Schlüsselinformation über konditionierte, aufgebaute (d. h. "gelernte") Kausalitätsbeziehungen assoziiert werden (Assoziieren aus Erfahrung). Verifizierte Invarianten, die assoziierte Informationen darstellen, sollen in bedingte logische Verknüpfungen und/oder bedingte Zuordnungen einbeziehbar sein (analog dem konditionierungsabhängigen logischen Denken).

Das besondere Ziel der Erfindung ist das Aufzeigen von ökonomisch realisierbaren Strukturen für assoziative Erfahrungsspeicher, welche zur Entwicklung von lernfähigen Zuordnungskomplexen (vgl. WP 145 338, WP 149 723 und WP 234 948/8) geeignet sind und z. B. mit Logik- oder Zuordnungseinheiten bzw. Zuordnungsniveaus (vgl. WP 140 927, WP 145 338 und WP 234 948/8) integriert oder verbunden werden können.

Die Erfindung soll als Teilsystem Intelligenter Automaten nutzbar sein, die vom Erfinder in Patentschriften seit 1978 definiert worden sind (vgl. WP 145 436, WP 149 723, WP 0153 744 und WP 234 948/8) und zum algorithmischen Modellieren des adaptiven Erkennens und Entscheidens für intelligente Aktionen durch erfahrungsgemäße Voraussagen und Hypothesen fähig sind. Nach dem Vorbild des Kenntniserwerbs und Assoziierens im "denkenden Gedächtnis" des Gehirns wird das biokybernetische Ziel verfolgt, elementare Lernprozesse technisch zu modellieren.

Die psychologisch klassifizierbaren Lernformen (z. B. bedingte Reaktion, bedingte Aktion und Lernen durch Einsicht) lassen sich auf den Grundprozeß des "strukturellen Lernens" zurückführen, welcher als die konditionierte Struktur- und Funktionsänderung eines "lernfähigen" logischen Systems simuliert werden kann (vgl. WP 234 948/8 und Veröffentlichungen des Erfinders).

Eine grundlegende Aufgabe der Forschungsrichtung künstliche Intelligenz ist die Darstellung von erweiterbarem Wissen, insbesondere von modifizierbaren kausalen Begriffsnetzen, bestehend aus Begriffen als Stützinformationen und aus Beziehungen zwischen Begriffen. Mit einer technisch implementierbaren "lernfähigen" logischen Struktur soll der Kenntniserwerb simuliert werden, indem mindestens eine Kausalitätsbeziehung zwischen ausgewählten verifizierbaren Invarianten, die aufeinander beziehbare Informationen bzw. Begriffe darstellen, unter der Bedingung der bewerteten Koinzidenz ihrer Signalereignisse aufgebaut wird.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht im Aufzeigen der Struktur- und Funktionsprinzipien eines "lernfähigen" assoziativen Erfahrungsspeichers zum Implementieren bedingter logischer Verknüpfungen und/oder zum assoziativen Einkoppeln von Signalen in Übertragungskanäle für assoziierbare oder assoziierte Informationen (wie in WP 145 810) entsprechend dem Ziel der Erfindung.

Folgende Forderungen werden von dem erfindungsgemäßen assoziativen Erfahrungsspeicher erfüllt:

- parallele Ausbildung und Festigung (Konsolidierung) von bedingten logischen Verknüpfungen bzw. bedingten Zuordnungen durch Konditionierung von Struktur- und Funktionsänderungen (analog dem Gewinnen und Speichern von Erfahrungen (Wissenszuwachs) durch bedingtes Erfassen und Behalten von Beziehungen als erworbene Kenntnisse im Gedächtnis) simultan zur parallelen Erzeugung von mit Schlüsselinformationen assoziierten Informationen durch konditionierte Assoziationen und aufgebaute Kausalitätsbeziehungen (analog dem assoziativen Anwenden

- von Erfahrungen), d. h. Funktion eines Parallel-Assoziativspeichers mit Fähigkeiten zum parallelen Implementieren des strukturellen Lernens und Speicherns simultan zu logischen Operationen und zum Assoziieren aus Erfahrung (analog dem Mehrfunktionscharakter der neuronalen Struktur des "denkenden Gedächtnisses", modelliert durch modifizierbare Neuronenverbände und effektivierbare Synapsen für konditionierbare Assoziationen),
- gradueller oder abrupter Aufbau bzw. Abbau von Assoziationen (Verbindungen) für erfahrungsgemäße Kausalitätsbeziehungen, ausgehend von verifizierbaren Invarianten für ursächliche oder Schlüsselinformationen und bezogen auf Invarianten für assoziierbare und (möglicherweise) assoziierte Informationen, bedingt durch die zeitlich oder häufigkeitsmäßig bewertete Koinzidenz oder zeitliche Kontiguität der Signalereignisse der aufeinander beziehbaren Invarianten, die sowohl sensuell als auch durch feste und/oder bedingte Verknüpfungen (z. B. durch veranlagte oder konditionierte Assoziationen) verifiziert werden können (vgl. Fig. 1, 2 und 3), d. h. Simulation der Modifikation und/oder Erweiterung von Wissen (Wissenszuwachs) infolge sensuellen und/oder assoziativen (rationalen) Kenntniserwerbs (Erkenntnis bzw. Hypothesenbildung) durch das "Erfassen" und/oder (möglicherweise) "Einbilden" von Kausalitätsbeziehungen als "Kenntnisse" bzw. "Hypothesen" und Simulation des Vergessens von solchen Kenntnissen und Hypothesen im Kurzzeitgedächtnis, die ungenügend unter der Koinzidenzbedingung konsolidiert worden sind.
 - strukturelles Speichern von aufgebauten (z. B. disjunkten, konjunkten und/oder alternativen) Beziehungen zwischen verifizierbaren Invarianten für Schlüsselinformationen und Invarianten für assoziierte Informationen, die in Fällen ungenügender Konsolidierung oder durch Umlernen (bzw. anders bedingt) abgebaut (d. h. vergessen) werden können, d. h. Modellierung des Kurz- und Langzeitgedächtnisses als Wissens- und Erfahrungsspeicher für erworbene Kenntnisse und Fertigkeiten,

- assoziative Speicherung ohne selektive Adressierung von Speicherplätzen und Reduzierung des Aufwandes im Vergleich zu adressierbaren Assoziativspeichern mit Lese-/Schreiboperationen durch Wegfall der Lese- und Schreib-Auswahlleitungen,
- wahlweise Gleichsetzung (Äquivalenz) von Signalen für assoziierbare oder assoziierte Informationen mit Signalen für Schlüsselinformationen, so daß assoziierte Informationen als Schlüsselinformationen das Assoziieren weiterer Informationen bewirken können (Assoziationsketten), und/oder daß Schlüsselinformationen als assoziierbare Informationen fungieren, die mit anderen Schlüsselinformationen bzw. assoziierten Informationen durch strukturelles Lernen in Beziehung gebracht werden können,
- Divergenz der assoziativen Auswirkungen (bzw. Beziehungen) von Signalereignissen für Schlüsselinformationen und Konvergenz der logisch verknüpften Beziehungen von solchen Signalereignissen, die gleiche assoziierte Informationen definieren (analog dem Konvergenz- und Divergenz-Prinzip für Beziehungen bzw. Verbindungen in Neuronennetzen, z. B. der Assoziationskomplexe des Gehirns),
- universelle Koppelbarkeit der Eingänge und/oder Ausgänge des assoziativen Erfahrungsspeichers mit Logik-Gattern, Negatoren, Verstärkern, Wandlern, Treibern, Flipflops, Triggern, Toren, Registern, Speichern, Sensoren, Effektoren, Anschluß- oder Verbindungseinheiten, Zuordnungseinheiten, -niveaus, -komplexen (vgl. WP 149 723 und WP 234 948/8), assoziativen Koppelmatrizen oder anderen assoziativen Erfahrungsspeichern,
- Verwendbarkeit des assoziativen Erfahrungsspeichers als lernfähiger Zuordner (z. B. für Zuordnungsniveaus wie in WP 145 338 und WP 234 948/8) oder als Parallel-Assoziativspeicher zum Aufbau von lernfähigen Zuordnungskomplexen (WP 234 948/8), z. B. Gedächtnissystemen Intelligenter Automaten,
- Realisierbarkeit des assoziativen Erfahrungsspeichers durch hochintegrierte Schaltungen der Mikroelektronik, z. B. mit

Gate-Arrays oder analog Speichern in MOS- oder CMOS-Technologien, und zukünftige Computertechnologien (z. B. optische Schaltungen).

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die im Erfindungsanspruch angegebenen Merkmale gelöst.

Ausführungsbeispiel:

- Fig. 1: Prinzipschaltbild des assoziativen Erfahrungsspeichers,
- Fig. 2: logische Grundschialtung des assoziativen Erfahrungsspeichers als lernfähige Zuordnungseinheit,
- Fig. 3: Blockschaltbild eines assoziativen Erfahrungsspeichers für bedingte disjunktive Verknüpfungen,
- Fig. 4: Logikplan des Ausführungsbeispiels einer Koppereinheit für bedingte disjunktive Verknüpfungen,
- Fig. 5: Schaltungsbeispiel einer Koppereinheit für bedingte disjunktive Verknüpfungen.

Die Fig. 1 zeigt das Prinzipschaltbild des assoziativen Erfahrungsspeichers als Parallel-Assoziativspeicher, eingesetzt zur assoziativen Einkopplung von Informationsflüssen in Übertragungskanäle (vgl. Patentschriften des Erfinders: WP 145 810 (Fig. 1), WP 149 723, WP 153 744 und WP 234 948/8). Der assoziative Erfahrungsspeicher hat Übertragungskanäle (14) für assoziierbare Informationen seiner Eingänge 1, Übertragungskanäle (15) für Schlüsselinformationen seiner Eingänge 2 und Übertragungskanäle (16) für assoziierte Informationen seiner Ausgänge 3. Wahlweise können über interne oder externe Verbindungen 4; 5; 6; 7; 12 besondere Eingänge 1 mit Eingängen 2 (Verbindungen 4; 5; 6) und Ausgänge 3 mit Eingängen 1; 2 (Verbindungen 7; 12) gekoppelt werden. Die Eingänge 1; 2 und Ausgänge 3 sind mit Gattern oder Toren 8; 9 verbindbar, die zur Steuerung, Verhinderung (Hemmung) oder logischen Verknüpfung von übertragbaren Informationen dienen.

Die mit Schlüsselinformationen der Eingänge 2 assoziierten Informationen der Ausgänge 3 können mit gleichen Informationen der Kanäle 11; (14) für assoziierbare Informationen der Eingänge 1 disjunktiv verknüpft werden. Sie werden beispielsweise durch logische Disjunktionen 10; (19) (z. B. wired or, NOR oder NAND)

in Übertragungskanäle 11 für assoziierbare Informationen assoziativ eingekoppelt (vgl. Fig. 2 und Verfahren in WP 145 810). Eine besondere Ausbildung der Erfindung ist durch wahlweise Verbindungen 13a; 13b von Übertragungskanälen 13;(20) für assoziierbare oder assoziierte Informationen zu Eingängen 1;(14) und/oder 2;(15) für assoziierbare bzw. Schlüsselinformationen möglich (vgl. 25a; 25b in Fig. 3). Die ausbildbaren Verbindungen 12; 13a implementieren Rückkopplungen von assoziierten Informationen der Ausgänge 3; 13 auf ausgewählte Eingänge 1 des Erfahrungsspeichers. Dadurch können mit einer assoziierten Information mehrere andere Informationen der Eingänge 2 hypothetisch als ursächliche "Schlüsselinformationen" in kausale Beziehungen gebracht werden (durch Konditionierung von Assoziationen der entsprechenden Koppereinheiten 17a). Auf diese Weise ist die Simulation der Hypothesenbildung möglich, d. h. des Aufbaus "eingebildeter" Kausalitätsbeziehungen (Annahmen) zwischen koinzidenten Invarianten, von denen mindestens eine durch Assoziieren aus Erfahrung verifiziert worden ist. Eine hypothetisch konditionierte Assoziation für eine "Annahme" kann durch wiederholte Koinzidenz der Signalereignisse für die Bezugsinvarianten bekräftigt (konsolidiert) bzw. praktisch "bewiesen" werden.

Wenn eine "unbewiesene" Annahme nicht abgebaut (d. h. nicht "vergessen") wird, bleibt sie als Hypothese eingeprägt (d. h. wird "geglaubt"). Eine bewiesene Annahme (analog einer bestätigten Hypothese) wird als "assoziativ erworbene Kenntnis" (analog der rationalen Erkenntnis) durch mindestens eine konsolidierte Kausalitätsbeziehung strukturell gespeichert.

Die Gleichsetzung einer Invariante der assoziierten Information mit einer Invariante der Schlüsselinformation, z. B. über die Verbindung 7; 13b, ermöglicht die Implementierung einer Assoziationskette, d. h. das Assoziieren von Informationen mit assoziierten Schlüsselinformationen über disjunkte Kausalitätsbeziehungen analog dem schließenden assoziativen Denken (Induktion und Deduktion).

Die Fig. 2 zeigt die logische Grundschaltung des assoziativen Erfahrungsspeichers als lernfähige Zuordnungseinheit 21 mit bedingten logischen Verknüpfungen (vgl. WP 145 338). Die Zuordnungseinheit 21 ist (wie in den Patentschriften WP 145 338 und WP 149 723) in einen konditionierbaren Leitungsverzweiger 21a mit logischen Koppereinheiten 17a; 17b und in Verknüpfungen 18 einteilbar bzw. zerlegbar. Die Grundschaltung ist durch Kanäle 14 für assoziierbare Informationen, Kanäle 15 für Schlüsselinformationen, Kanäle 16 für assoziierte Informationen und Kanäle 20 für assoziierbare oder assoziierte Informationen gekennzeichnet. Ihre Ausgänge 16 bilden Ausgangssignale (Ausgangsvariable) zur Darstellung der assoziierten Informationen als Resultate bedingter logischer Verknüpfungen 18 der Logikschaltungen 17a; 17b. Sie können mit Hilfe der konditionierbaren Koppereinheiten 17a; 17b als bedingte Funktionen von solchen Eingangssignalen (Eingangsvariablen) der Eingänge 15 definiert werden, die über Koppereinheiten 17b gesteuerten Einfluß haben und z. B. Schlüsselinformationen darstellen. Die Signale der Ausgänge 16 entsprechen äquivalenten Signalen der Eingänge 14 und können mit diesen disjunktiv verknüpft werden (logische Disjunktion 19). Ihre Signalwerte (Invarianten) sind mit entsprechenden Signalwerten der Eingänge 14 synonym. In die disjunktiven Verknüpfungen 19 werden Resultate der logischen Verknüpfungen 18 (z. B. Disjunktion, Konjunktion, Antivalenz und/oder Negation) einbezogen, die durch Zustände der Koppereinheiten 17a; 17b bedingt und durch ausgewählte Signalwerte der Eingänge 15 definiert werden. Mittels Disjunktionen 19 können die Funktionswerte der bedingt verknüpften Signale von Eingängen 15 in die Übertragungskanäle von Eingängen 14 zu Ausgängen 20 assoziativ eingekoppelt werden (vgl. Fig. 1 und WP 145 810). Mit den matrixartig angeordneten Koppereinheiten 17a; 17b und den Verknüpfungen 18 (z. B. mittels OR; NOR; NAND und/oder AND) werden bedingte logische Verknüpfungen oder bedingte Zuordnungen konditionierungsabhängig ausgebildet, bekräftigt (konsolidiert), modifiziert oder rückgebildet. Voraussetzungen dazu sind aufbaubare oder abbaubare Kausalitätsbeziehungen.

zwischen verifizierbaren Invarianten (d. h. Signalwerten oder Signalwertsätzen, z. B. Zeichen oder Worten, aufgefaßt als Werte von Variablen) der Eingänge 2; 15 und Ausgänge 3; 16. Solche "lernbaren" Beziehungen können prinzipiell mit disjunkten, konjunkten oder antivalenten (alternativen) Assoziationen (Verbindungen) implementiert werden, die durch Konditionierung der Koppereinheiten 17a; 17b entweder aufbaubar oder abbaubar sind. Die konditionierbaren Assoziationen für "lernbare" Kausalitätsbeziehungen werden in der logischen Struktur der Zuordnungseinheit 21 bzw. des assoziativen Erfahrungsspeichers konzeptionell veranlagt, indem zustandsveränderliche Koppereinheiten 17a; 17b zum Aufbauen bzw. Abbauen von Assoziationen vorgesehen werden (vgl. veranlagte modifizierbare und erweiterbare Struktur des lernfähigen Gedächtnisses mit effektivierbaren synaptischen Verbindungen). Eine Koppereinheit 17a; 17b; (22) hat entweder den Zustand "keine Verbindung" (17a) oder den Zustand "Verbindung hergestellt" (17b). Sie wird durch das abstrakte Symbol 17a bzw. 17b der Fig. 2 bezeichnet. Die Verbindungen können bereits nach einmaliger oder erst nach mehrmaliger Erfüllung der Koinzidenzbedingung sowohl abrupt als auch graduell hergestellt werden. Jede aufgebaute Verbindung (Assoziation) implementiert eine Kausalitätsbeziehung zwischen Signalwerten oder Signalwertsätzen (d. h. Invarianten als diskrete Werte binärer oder mehrwertiger Variablen) der Kanäle 15 und 16. Durch Assoziieren werden Invarianten der Ausgänge 16 als Funktionen von solchen Invarianten der Kanäle 15 verifiziert, die über effektivisierte Koppereinheiten 17b entsprechend der Konditionierung ursächlichen Einfluß haben. Es werden durch verifizierte Invarianten der Kanäle 3; 16 solche Informationen bzw. Begriffe dargestellt, die mit koinzidenten Invarianten der Kanäle 2; 15 (z. B. für Schlüsselinformationen) über Koppereinheiten 17b im Zustand "Verbindung hergestellt" assoziiert sind. Die assoziierten Informationen der Ausgänge 3; 16 sind mit gleichen Informationen der Eingänge 1; 14 bzw. Kanäle 11; 14 disjunktiv verknüpfbar und assoziativ in Kanäle 11; 14 für assoziierbare Informationen über Disjunktionen 10; 19

einkoppelbar, als ob sie ohne Einflüsse von Schlüsselinformationen der Kanäle 2; 15 in den Kanälen 1; 14 übertragen worden wären.

Unter "Information" verstehen wir die Begriffsklasse aller semantischen Inhalte einer verifizierten Invariante. (d. h. des ausgewählten Wertes einer Variable) oder eines Invariantensatzes, der als aktuelle Formation (Wertetupel) der Werte einer Variablenkonfiguration in einem Zeitpunkt definiert wird. Als Variable gilt ein Signal oder eine Signalgruppe des Übertragungskanals (1; 2; 3; 11; 13; 14; 15; 16; 20) zur Darstellung codierter Information.

Die logische Struktur des assoziativen Erfahrungsspeichers bzw. der lernfähigen Zuordnungseinheit 21 ist modifizierbar und erweiterbar. Ihre konditionierbaren Koppereinheiten 17a; 17b ermöglichen den erfahrungsgemäßen Aufbau oder Abbau von Kausalitätsbeziehungen zwischen ausgewählten Invarianten der Kanäle 2; 15 und 3; 16 unter der Bedingung der Koinzidenz "verbindbarer" Invarianten der Kanäle 1; 14 und 2; 15. Die Invarianten stellen Stützinformationen bzw. Begriffe des modellierten kausalen Begriffsnetzes dar, das dem dargestellten modifizierbaren oder erweiterbaren Wissen entspricht. Der Erfahrungsspeicher dient zum Simulieren des Kenntniserwerbs durch "strukturelles Lernen" (analog dem Wissenszuwachs durch Modellbildung) und des Assoziierens aus Erfahrung (z. B. für assoziierte Voraussagen oder Erwartungen beim lerntypischen Verwerten von gespeichertem Wissen für "intelligente" Entscheidungen). Mit dem assoziativen Erfahrungsspeicher sind lernfähige Zuordnungskomplexe als Gedächtnissysteme Intelligenter Automaten (vgl. WP 234 948/8) realisierbar.

Die Koppereinheiten 17a; 17b dienen zum "strukturellen Lernen", d. h. zur Struktur- und Funktionsänderung, der lernfähigen Zuordnungseinheit 21. Sie vollziehen den Aufbau bzw. Abbau von erfahrungsgemäßen Assoziationen zur Implementierung der unter der Koinzidenzbedingung "lernbaren" Beziehungen. Wie in Fig. 2 gestrichelt dargestellt ist, können mehrere Koppereinheiten 17a; 17b für die Konditionierung paralleler oder alternativer Beziehungen bzw. Assoziationen pro Kreuzungspunkt der Matrix eingesetzt werden.

Zum Zwecke der Feststellung und Bewertung der Koinzidenz oder zeitlichen Kontiguität der Signalereignisse verifizierter Invarianten der Kanäle 1; 14 und 2; 15 werden den Koppereinheiten 17a; 17b besondere Paare ausgewählter "verbindbarer" Invarianten von den Eingängen 1; 14 und 2; 15 zugeleitet.

Die Invariantenpaare stellen aufeinander beziehbare bzw. korrelierbare Informationen dar, deren Beziehungen mittels spezieller Koppereinheiten (analog Synapsen) aufbaubar oder abbaubar (d. h. lernbar) sind.

Die Koppereinheiten 17a im Zustand "keine Verbindung", die für aufbaubare (erfaßbare oder einbildbare) Kausalitätsbeziehungen vorgesehen sind, gehen entsprechend der konzeptionellen Veranlagung bereits infolge einmaliger oder erst nach mehrmaliger Konditionierung in den Zustand "Verbindung hergestellt" (17b) über, abhängig von der Bewertung der Koinzidenz der Signalereignisse der verbindbaren Invarianten für aufeinander beziehbare Informationen.

Die Koppereinheiten 17b implementieren aufgebaute (z. B. erfaßte) Kausalitätsbeziehungen aufgrund ihrer erfahrungsgemäß konditionierten Assoziationen oder Wahrscheinlichkeitsverbindungen, die infolge der zeitlichen und/oder häufigkeitsmäßigen Bewertung von Ereignissen der erfüllten Koinzidenzbedingung durch Zustandsveränderungen der Koppereinheiten 17a aufgebaut worden sind. Der Aufbau einer Assoziation bzw. Beziehung wird z. B. infolge der Überschreitung eines wählbaren Schwellwertes für die relative Häufigkeit der Koinzidenz oder für die bedingte Wahrscheinlichkeit der assoziierbaren Information (unter der Bedingung der simultan gültigen Schlüsselinformation) in einer Koppereinheit 17a durchgeführt. Im Fall der zeitlichen Bewertung der erfüllten Koinzidenzbedingung ist der Beziehungsaufbau nach einer wählbaren Mindestdauer der Koinzidenz möglich. Er kann z. B. abhängig von mindestens einer Zeitkonstante implementiert werden (vgl. Fig. 4).

Die möglicherweise ausbildbare oder veranlagbare Rückkopplung 12; 13a; (25b) von einem Ausgang 3; 16 oder Kanal 13; 20 für assoziierte Information auf die Koppereinheiten 17b; (22) gewährleistet, daß die Koinzidenzbedingung auch dann erfüllt

und die aufgebaute Beziehung mindestens einer Koppereinheit 17b bekräftigt wird, wenn infolge der Verifikation mindestens einer Invariante der Kanäle bzw. Eingänge 15 für die Schlüsselinformationen an dem Ausgang 3; 16 eine Invariante für die assoziierte Information aufgrund der Assoziation einer Koppereinheit 17b verifiziert wird und während einer gewissen Dauer gleichzeitig mit der verbundenen Schlüsselinformation bestehen bleibt. Dadurch ist die Konsolidierung allein durch Assoziieren aus Erfahrung implementierbar.

Der Abbau von Assoziationen bzw. Kausalitätsbeziehungen der Koppereinheiten 17b simuliert das konditionierungsabhängige Vergessen von Kenntnissen (bzw. Fertigkeiten) oder Hypothesen (d. h. von abbaubaren Beziehungen zwischen Begriffen) im Kurzzeitgedächtnis. Der Beziehungsabbau erfolgt in Fällen der zeitlich und/oder häufigkeitsmäßig ungenügenden Erfüllung der Koinzidenzbedingung, z. B. wenn die aufgebaute Beziehung zu selten, zu kurzzeitig oder nicht ausreichend bekräftigt (konsolidiert) worden ist. Die ungenügende Bekräftigung unter der Koinzidenzbedingung kann mit wählbaren Zeitkonstanten oder Schwellwerten der relativen Mindesthäufigkeit der Koinzidenzereignisse festgestellt werden (vgl. Fig. 4 und 5). Der Übergang der Koppereinheiten 17b in den Zustand "keine Verbindung" (17a) implementiert den Beziehungsabbau. Er kann konditionierungsabhängig in Fällen ungenügender Bekräftigung oder auch durch externe Signale oder Rücksetzsignale gesteuert werden (vgl. Fig. 4).

Durch die genügend wiederholte Erfüllung der Koinzidenzbedingung für eine aufgebaute Beziehung wird die konditionierte Assoziation vor dem Abbau (Vergessen) bewahrt. Ein Beispiel hierfür ist die Konsolidierung von Kenntnissen und Fertigkeiten durch Training.

Wenn das Langzeitgedächtnis modelliert werden soll, muß der Abbau von strukturell gespeicherten, aufgebauten Beziehungen in großen Zeitintervallen verhindert werden. Dazu sind Koppereinheiten 17b mit statischen Speichereigenschaften verwendbar, z. B. mit Flipflops, Magnetisierungen oder bleibenden Strukturänderungen.

Mit den Koppereinheiten 17b und den logischen Verknüpfungen 18; 19 werden bedingte Zuordnungen von Eingangsinformationen der Kanäle 15 zu Ausgangsinformationen der Kanäle 16 bzw. 20 implementiert. Die Eingangs- und Ausgangsinformationen sind semantische Inhalte der verifizierten Invariantensätze der Eingänge 15 und Ausgänge 16; 20, d. h. der aktuellen Formationen von Variablenkonfigurationen der Informationsdarstellungen. Die bedingten Zuordnungen der lernfähigen Zuordnungseinheit 21 werden infolge "strukturellen Lernens" durch die Konditionierung von Assoziationen mit Koppereinheiten 17b gemäß koinzidenter Eingangsinformationen der Kanäle 14 und 15 in der Vorgeschichte (Lernphase) bestimmt.

Wenn die logischen Verknüpfungen 18; 19 alle disjunktiv verlangt werden, sind nur disjunkte Kausalitätsbeziehungen von Invarianten der Eingänge 15 zu assoziativ verifizierbaren Invarianten der Ausgänge 16 konditionierbar. Die bedingten disjunktiven Verknüpfungen können ökonomisch durch z. B. wired-or - Schaltungen oder NAND- bzw. NOR-Gatter (integrierbar mit Koppereinheiten 17a; 17b; 22) durch mikroelektronische Matrixschaltungen implementiert werden.

Die Fig. 3 zeigt das Blockschaltbild eines assoziativen Erfahrungsspeichers für bedingte disjunktive Verknüpfungen. Die Koppereinheiten 22 sind an den Kreuzungspunkten einer Matrix angeordnet und direkt mit den Leitungen 23 für assoziierbare Informationen (entsprechend 1; 14), den Leitungen 24 für Schlüsselinformationen (entsprechend 2; 15) und den Leitungen 25 für assoziierte oder assoziierbare Informationen (entsprechend 13; 20) verbunden. Diese Variante der Grundschaltung nach Fig. 2 implementiert die disjunktiven Verknüpfungen 18; 19 durch wired-or - Schaltungen, z. B. mit an die Leitungen 25 geschalteten open-collector-Gattern oder -Negatoren 26; 26a und Widerständen 28. Die Leitungen 23; 24; 25 führen binäre oder mehrwertige Signale, deren verifizierte Signalwerte als Invarianten ausgewählte Informationen darstellen. Sie können mit Anschlußgliedern 27, z. B. Logik-Gattern, Negatoren, Verstärkern, Treibern, Wandlern, Sensoren, Effektoren, Flipflops, Registern, Speichern, Zuordnungseinheiten

oder Anschluß- oder Verbindungseinheiten (vgl. WP 234 948/8), verbunden werden oder sind miteinander bzw. mit anderen assoziativen Erfahrungsspeichern koppelbar (z. B. modulare hierarchische Systeme).

Im Fall der Zusammenschaltung von NAND-open-collector-Gattern 32 der Koppereinheiten 22 an die Leitungen 25 (vgl. Fig. 4) sind Negatoren 27 mit den Leitungen 25 verbindbar, um die Signalwerte zu invertieren und anzupassen.

Die Disjunktionen 19 der Fig. 2 können durch die Einbeziehung der Leitungen 23 in die wired-or - Schaltungen der Leitungen 25, z. B. über open-collector-Negatoren 26, implementiert werden. Jede Koppereinheit 22 ist (wie die Koppereinheiten 17a; 17b in Verbindung mit den logischen Verknüpfungen 18; 19 der Fig. 2) für den konditionierbaren Aufbau bzw. Abbau mindestens einer Kausalitätsbeziehung zwischen ausgewählten "verbindbaren" Signalwerten von Invariantenpaaren der Leitungen 24 und 25 vorgesehen.

Auf Basis der Fig. 3 können auch mehrere Beziehungen zwischen den Signalwerten eines Signalpaares (z. B. zweier mehrwertiger Variablen mit mehreren verbindbaren Invarianten) konditioniert werden. Dazu sind pro Kreuzungspunkt der Leitungen 24; 25 mehrere Koppereinheiten 22 (wie in Fig. 2 gestrichelt dargestellt) positionierbar. Sie können mit den gleichen Leitungen 24; 25 parallel verbunden werden, jede spezifisch für bestimmte aufeinander beziehbare Signalwerte, z. B. wahre oder inverse Werte von binären Variablen.

Der assoziative Erfahrungsspeicher der Fig. 3 ist in großintegrierter Technologie der Mikroelektronik auf Chip-Modulen realisierbar, möglicherweise in Verbindung mit z. B. Flipflops, Registern, Logik-Gattern, Anschlußeinheiten für Speicher und/oder Prozessoren (vgl. WP 234 948/8) oder Zuordnungseinheiten, -niveaus bzw. -komplexen (vgl. WP 145 338, WP 149 723 und WP 234 948/8).

Ein besonderes Ausführungsbeispiel des assoziativen Erfahrungsspeichers entsteht durch die wahlweise (gestrichelt gezeichnete) Verbindung (z. B. 25b) von ausgewählten Leitungen 23 über Negatoren 27; 27a mit Leitungen 25 für assoziierbare oder assoziierte Informationen (Rückkopplungen, vgl. 12; 13a in Fig. 1).

Die Signale für assoziierbare Informationen werden im Beispiel über die Negatoren 26a (open collector) den Leitungen 25 zugeführt. Außer diesen Eingangsinformationen wirken die disjunktiv in den Kanal der Leitung 25 von den Koppereinheiten 22 eingekoppelten assoziierten Informationen über die Negatoren 27; 27a als assoziierbare Informationen der Leitungen 23. Der Negator 26 entfällt pro Leitung 25 dann, wenn die assoziierbare Information von außen über den Negator 26a disjunktiv in den Kanal 25 eingekoppelt wird. Durch diese Modifikation des Blockschaltbildes der Fig. 3 können infolge der Konditionierung bestimmter Koppereinheiten 22 des Ausführungsbeispiels neben "erfaßten" auch "eingebildete" Kausalitätsbeziehungen aufgebaut werden. Sie werden ausgehend von Invarianten für Schlüsselinformationen der Leitungen 24 mit koinzidenten Invarianten für von außen zugeführte assoziierbare oder für intern assoziativ erzeugte (assoziierte) Informationen der Leitungen 25 konditioniert. Das bedeutet, daß (unter der Koinzidenzbedingung verbindbarer Invarianten für aufeinander beziehbare Informationen bzw. Begriffe) mit dem assoziativen Erfahrungsspeicher nicht nur der "sensuelle" Kenntniserwerb, d. h. das "Erfassen" von Beziehungen zwischen tatsächlich wahrgenommenen Invarianten, simulierbar ist, sondern auch der "assoziative" Kenntniserwerb (analog der rationalen Erkenntnis) durch Hypothesenbildung (vgl. Fig. 1). Letzterer bedeutet das "Einbilden" von konditionierten Kausalitätsbeziehungen als "Annahmen" zwischen solchen koinzidenten Invarianten, die mindestens eine erfahrungsgemäß "vorgestellte" (d. h. assoziierte) Information darstellen. Die "eingebildeten" Beziehungen werden als "angenommene" Kenntnisse, d. h. Hypothesen, mindestens kurzzeitig gespeichert. Sie werden "vergessen" (d. h. abgebaut), wenn sie nicht genügend durch Konditionierungen bekräftigt (konsolidiert) worden sind. Mit einer assoziierten Information können mehrere andere Informationen hypothetisch als ursächliche oder Schlüsselinformationen in Beziehung gebracht werden (vgl. "Suche nach der Ursache" durch Frage "warum?"). Das strukturelle Erlernen "angenommener" bedingter Zuordnungen wird in dem besonderen Ausführungsbeispiel des assoziativen Erfahrungsspeichers aufgrund und während des Assoziierens aus

Erfahrung implementiert. Ein fundamentales Beispiel für die simulierbare Hypothesenbildung ist das Ausbilden konditionierter Assoziationen für bedingte Reflexe aufgrund von assoziierten Vorstellungen durch bedingte Reize (vgl. assoziative Koppelmatrix in WP 145 810, WP 149 723 und in neuerer Patentanmeldung des Erfinders).

Als weiteres Ausführungsbeispiel ist in Fig. 3 die Verbindung 25a wahlweise vorgesehen, um zu ermöglichen, daß mindestens eine assoziierte oder assozierbare Information als Schlüsselinformation der Leitung 24 fungiert. Infolge der Konditionierung von verketteten Kausalitätsbeziehungen, können solche durch Assoziationsketten in Zusammenhang stehende Informationen assoziiert werden, die aufeinanderfolgenden Stützinformationen von begrifflichen "Vorstellungen" entsprechen. Sie können zugeordneten Resultaten induktiver oder deduktiver logischer Schlüsse äquivalent sein, die durch erfahrungsgemäße Implikationen (wenn - dann - Aussagen) mit bedingt zugeordneten unterschiedlich abstrakten Invarianten darstellbar sind.

Die Fig. 4 zeigt den Logikplan des Ausführungsbeispiels einer Koppereinheit 22 für bedingte disjunktive Verknüpfungen. Die Koppereinheit 22 ist mit den Leitungen 29; 30; 31 für assozierbare, Schlüsselinformationen bzw. assoziierte Informationen verbunden, die im Beispiel mit binären Signalen dargestellt werden. Unter der Bedingung der Koinzidenz eines ausgewählten Signalwertes (z. B. Wert 1) der Leitung 24; 30 und des assozierbaren Signalwertes (z. B. Wert 1) der Leitung 23; 29 kann eine disjunkte Kausalitätsbeziehung von dem Signalwert (z. B. Wert 1) der Leitung 24; 30 zu einem solchen Signalwert (z. B. Wert 0) der Leitung 25; 31 aufgebaut werden, der dem assozierbaren Signalwert der Leitung 23; 29 entspricht (d. h. mit ihm synonym ist). Die Koinzidenz wird durch die konjunktive Verknüpfung 36 (z. B. Gatter, Tor oder AND) von aufeinander beziehbaren Signalwerten der Leitungen 29 und 30 festgestellt und durch ein Koinzidenzsignal definiert. Das Koinzidenzsignal, z. B. vom Ausgang eines AND-Gatters 36, wird zeitlich und häufigkeitsmäßig bewertet, indem es einem Trägheits- oder Ladungsglied 35 zugeleitet, durch dieses transformiert und

einem Speicher- oder Schaltglied 34 zugeführt wird. Aufgrund der Zustandsänderung des Speicher- oder Schaltgliedes kann mit Hilfe des steuerbaren Gatters oder Tors 32 (z. B. NAND oder möglicherweise NOR bzw. AND) eine "erfahrungsgemäße" bzw. konditionierte Verbindung graduell oder abrupt hergestellt bzw. zerstört werden. Die Voraussetzung dazu ist, daß eine lernbare (d. h. aufbaubare bzw. abbaubare) Kausalitätsbeziehung zwischen ausgewählten "verbindbaren" Signalwerten der Leitungen 30 und 31 konzipiert ist, die durch eine Assoziation oder Wahrscheinlichkeitsverbindung der Koppereinheit 22 implementiert werden kann. Das geöffnete Gatter oder Tor 32 implementiert eine strukturell gespeicherte, aufgebaute (erfaßte oder eingebildete) Kausalitätsbeziehung zur Simulation der erworbenen Kenntnis bzw. der angenommenen Hypothese. Das Gatter oder Tor 32 zum Implementieren mindestens einer lernbaren Kausalitätsbeziehung wird vom Ausgangssignal des Speicher- oder Schaltgliedes 34 so gesteuert, daß es im Zustand "Verbindung hergestellt" geöffnet bzw. im Zustand "keine Verbindung" geschlossen ist.

Zwecks Disjunktion mehrerer Einflüsse zu der Leitung 25; 31 über hergestellte Verbindungen werden mehrere Gatter oder Tore 32 disjunktiv mit der Leitung 25; 31 gekoppelt. Im Beispiel der direkten Zusammenschaltung (wired or) von open-collector-NANDs mit der Leitung 31 wird infolge der Effektivierung mindestens eines NAND-Gatters 32 (open collector) mindestens ein Signal assoziativ in den Kanal der Leitung 31 eingekoppelt und dadurch der Signalwert 0 der Leitung 31 verifiziert. Das Speicher- oder Schaltglied 34 bewirkt durch seine gesteuerte Zustandsänderung den Aufbau oder Abbau der konditionierten Beziehung bzw. Assoziation (Verbindung). Es ist z. B. mit einem Flipflop (bistabil oder monostabil), Schwellwertglied, Trigger, Gatter, Schalter, Speicherelement, Haltekreis oder Verstärker mit Zeitkonstante (z. B. rückgekoppelt) realisierbar. Die Kapazität 33 dient beispielsweise zur Implementierung einer Zeitkonstante für seine Rückstellung (z. B. eines monostabilen Flipflops oder Haltekreises 34) zur Simulation des "Vergessens" der ungenügend bekräftigten abbaubaren Beziehung. Sie kann entfallen, wenn anstelle des Kurz-

zeitgedächtnisses das Langzeitgedächtnis dadurch modelliert wird, daß keine zeit- oder konditionierungsabhängige Rückstellung in den Zustand "keine Verbindung" konzipiert ist. Die Einstellung des Zustandes "keine Verbindung" ist auch über einen wahlweisen Rücksetzeingang 37 durch zugeführte Signale (z. B. zum Anfangsrücksetzen) möglich.

Das Trägheits- oder Ladungsglied 35 (z. B. ein PT-, T- oder I-Glied der Regelungstechnik) hat eine Übertragungsfunktion mit mindestens einer Zeitkonstante. Es dient z. B. als Tiefpaß für die Übertragung des Koinzidenzsignals vom Gatter oder Tor 36 zum Eingang des Speicher- oder Schaltgliedes 34 und ist auf einfache Weise als RC-Glied mit Widerstand und Kapazität realisierbar (vgl. Fig. 5). Das Ausgangssignal des Trägheits- oder Ladungsgliedes 35 kann vom Speicher- oder Schaltglied 34 schwellwertabhängig bewertet werden, so daß z. B. die Einschaltung oder möglicherweise Ausschaltung des Zustands "Verbindung hergestellt" dann erfolgt, wenn es den gewählten Schwellwert für die Einschaltung überschritten bzw. den für die Ausschaltung definierbaren Schwellwert unterschritten hat. Die gewählten Schwellwerte und/oder die Zeitkonstante(n) des Trägheits- oder Ladungsgliedes 35 bestimmen die zeitliche und/oder häufigkeitsmäßige Bewertung der Ereignisse der erfüllten Koinzidenzbedingung, ausgedrückt durch das Koinzidenzsignal von dem Gatter oder Tor 36. Im Falle des Verzichts auf das Trägheits- oder Ladungsglied 35 kann jedes Ereignis der erfüllten Koinzidenzbedingung zum Verbindungsaufbau oder zur Bekräftigung der aufgebauten Beziehung zwischen Invarianten der Leitungen 30 und 31 führen. Der Abbau der ungenügend konditionierten Beziehung ist abhängig von Zeitkonstanten (vgl. 33) oder durch mindestens ein Rücksetzsignal (vgl. 37) möglich. Eine solche Koppereinheit wurde in der Patentschrift WP 145 810 vom Erfinder beschrieben.

Die Fig. 5 zeigt das Schaltungsbeispiel einer Koppereinheit 22 für bedingte disjunktive Verknüpfungen. Es ist ein Realisierungsbeispiel analog der Fig. 4 für binäre Signale und benötigt minimalen Aufwand an Bauelementen. Die Schaltung ist mit Feldeffekttransistoren (MOS) aufgebaut und kann mit der Technologie einer dynamischen RAM-Speicherzelle hergestellt werden.

Lese- und Schreib-Auswahlleitungen werden nicht benötigt, sondern nur Datenleitungen 38; 39; 40 für aufeinander beziehbare Invarianten (Signalwerte) mindestens einer Leitung 39 für Schlüsselinformation (H-Pegel) und mindestens einer Leitung 38 für assoziierbare Information (H-Pegel) bzw. einer Leitung 40 für assoziierte Information (L-Pegel), die den Leitungen 29; 30; 31 der Fig. 4 und den Leitungen 23; 24; 25 der Fig. 3 entsprechen.

Der Vergleich der Fig. 5 mit der Fig. 4 zeigt folgende Analogien:

Transistor 41 $\hat{=}$ Gatter oder Tor 32,

Transistor 42 $\hat{=}$ Speicher- oder Schaltglied 34,

Transistor 43 $\hat{=}$ konjunktive Verknüpfung 36

Kapazität 45 mit Widerstand 44 (optional) $\hat{=}$ Trägheits- oder Ladungsglied 35.

Anstelle des Transistors 42 (z. B. CMOS) kann ein Flipflop (bistabil oder monostabil), Schwellwertelement oder Trigger eingesetzt werden. Seine Fähigkeit zum selbsttätigen Rücksetzen in den Zustand "keine Verbindung" (vgl. Fig. 4) in Fällen ungenügender Konsolidierung ist auf verschiedene Weise, z. B. mit einer eigenen Zeitkonstante für den Abbau der Verbindung oder schwellwertabhängig, implementierbar. Außerdem ist das Rückstellen des Speicher- oder Schaltgliedes 34; 42 durch externe Signale möglich. Mit Hilfe des RC-Gliedes 44; 45 wird die Ladezeitkonstante zur Verzögerung der Einschaltung des Transistors 42 definiert. Die Kapazität wird mindestens durch die Gate-Kapazität des Transistors 42 realisiert. Auf den Widerstand 44 kann verzichtet werden (je nach gewählter Zeitkonstante).

Die Leitung 40 der disjunktiven Verknüpfung (wired or) kann zusätzlich mit einem Schwellwertglied oder Trigger 46 verbunden werden, um trotz den graduellen Änderungen des Signalpegels der Leitung 40 (z. B. verursacht von einem als Verstärker wirkenden Transistor 42) das Alles-oder-Nichts-Prinzip für binäre Ausgangssignale des assoziativen Erfahrungsspeichers zu gewährleisten.

Erfindungsanspruch

1. Assoziativer Erfahrungsspeicher für Intelligente Automaten als lernfähige Zuordnungseinheit für bedingte logische Verknüpfungen und/oder zur assoziativen Einkopplung von Signalen in Übertragungskanäle für assoziierbare oder assoziierte Informationen (vgl. WP 145 810) mit Eigenschaften eines Parallel-Assoziativspeichers zur Simulation des Kenntniserwerbs und der Hypothesenbildung durch strukturelles Lernen simultan zum Assoziieren aus Erfahrung, einsetzbar in adaptiven Erkennungs- oder Steuersystemen und Intelligenzen Automaten (vgl. WP 234 948/8), dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Übertragungskanal (14) oder eine Leitung (23; 29; 38) der Eingänge (1; 14) für assoziierbare Informationen mit zustandsveränderlichen Koppereinheiten (17a; 17b; 22) verbunden ist, die konditionierbare Assoziationen oder Wahrscheinlichkeitsverbindungen für Kausalitätsbeziehungen zwischen verifizierbaren Invarianten (d. h. Signalwerten oder Signalwertsätzen, z. B. Zeichen oder Worten als Werte binärer oder mehrwertiger Variablen) durch Änderung ihrer Zustände aufbauen, speichern oder abbauen können,
 - daß der Aufbau oder Abbau der Assoziationen bzw. Kausalitätsbeziehungen mittels der Koppereinheiten (17a; 17b; 22) abhängig von der Bedingung implementiert wird, daß die Koinzidenz oder zeitliche Kontiguität von Signalereignissen der aufeinander beziehbaren Invarianten, die einerseits assoziierbare oder assoziierte Informationen und andererseits Schlüsselinformationen darstellen, festgestellt und bewertet wurde, und daß dadurch bedingte logische Verknüpfungen (18; 19) oder bedingte Zuordnungen ausgewählter Invarianten parallel und gleichzeitig ausgebildet, bekräftigt (konsolidiert), modifiziert oder rückgebildet werden können,
 - daß mindestens ein Übertragungskanal (15) oder eine Leitung (24; 30; 39) der Eingänge (2; 15) für Schlüsselinformationen mit einer oder mehreren Koppereinheiten (17a; 17b; 22) verbunden ist, um divergierende Kausalitätsbeziehungen von mindestens einer Invariante für Schlüsselinformation

zu mehreren Invarianten für assoziierte Informationen implementieren zu können,

- daß mehrere Koppereinheiten (17a; 17b; 22) zur assoziativen Einkopplung von Signalen direkt und/oder über Verknüpfungen oder Logikschaltungen (10; 18; 19) in mindestens einen Übertragungskanal (11; 13; 14; 20) für assoziierbare oder assoziierte Informationen, z. B. mittels Leitungen (25; 31; 40) der Ausgänge (3; 16), dienen, um konvergierende Kausalitätsbeziehungen ausgehend von mehreren Invarianten für Schlüsselinformationen zu mindestens einer Invariante für assoziierte Information implementieren zu können,

- daß ausgewählte Koppereinheiten (22), z. B. direkt oder über Rückkopplungen (13a; 13b; 25a; 25b), mit besonderen Übertragungskanälen (13; 20) oder Leitungen (25; 31; 40) für assoziierbare oder assoziierte Informationen verbindbar sind, deren Signale aus implementierten logischen Disjunktionen (10; 19) resultieren, die verifizierte Invarianten der Ausgänge (3; 16; 25; 31) für assoziierte Informationen mit synonymen Invarianten der Eingänge (1; 14; 23; 29) für assoziierbare Informationen disjunktiv verknüpfen,

- daß mit einer Koppereinheit (22) mindestens eine konditionierbare Kausalitätsbeziehung zwischen ausgewählten Invarianten der Eingänge (2; 15; 30) für Schlüsselinformationen und der Ausgänge (3; 16; 25; 31) für assoziierte Informationen aufgrund der Bewertung mindestens eines Koinzidenzsignals "erfahrungsgemäß" aufgebaut oder wegen ungenügender Konsolidierung oder zwecks Rückstellen abgebaut werden kann,

- daß mit wählbaren Parametern (z. B. Zeitkonstanten und/oder Schwellwerten) die zeitliche und/oder häufigkeitsmäßige Bewertung des Koinzidenzsignals für den Übergang der Koppereinheit (22) in den Zustand "Verbindung hergestellt" (17b) bzw. "keine Verbindung" (17a) simultan mit möglichen logischen Operationen und/oder dem Assoziieren im Erfahrungsspeicher bestimmt wird, z. B. daß infolge der einmaligen oder erst nach mehrmals festgestellter Koinzidenz der aufeinander beziehbaren Invarianten die entsprechende Assoziation entweder graduell oder abrupt aufgebaut wird und nach ausbleibender Erfüllung der Koinzidenzbedingung im Fall keiner Konsolidierung abgebaut (vergessen) werden kann

2. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß pro Koppereinheit (22) mindestens eine konjunktive Verknüpfung (36; 43) zur Feststellung einer speziellen Koinzidenzbedingung implementiert wird, und daß das resultierende Koinzidenzsignal mit einem Trägheits- oder Ladungsglied (35; 44; 45) und/oder Speicher- oder Schaltglied (34; 42) bewertet wird, das durch mindestens eine Zeitkonstante und/oder mindestens einen Schwellwert als wählbare Größen zur Bestimmung der zeitlichen und/oder häufigkeitsmäßigen Bewertung des Koinzidenzsignals gekennzeichnet ist.
3. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Implementierung mindestens einer konditionierten Kausalitätsbeziehung bzw. Assoziation pro Koppereinheit (22) mindestens ein Gatter oder Tor (32; 41) vorhanden ist, das entsprechend dem Zustand eines mit ihm verbundenen Speicher- oder Schaltgliedes (34; 42) konditionierungsabhängig gesteuert, geöffnet oder geschlossen werden kann, und daß letzteres z. B. mit mindestens einem bistabilen oder monostabilen Flipflop, Speicherelement, Trigger, Gatter, Schalter, Schwellwertelement, Haltekreis oder Verstärker mit Zeitkonstante realisierbar ist.
4. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß mit Koppereinheiten (22) bedingte disjunktive Verknüpfungen (18) implementiert werden und die konditionierbaren Gatter oder Tore (32; 41) zum Implementieren disjunkter Beziehungen, Assoziationen oder Wahrscheinlichkeitsverbindungen mit den Leitungen für assoziierbare oder assoziierte Informationen (25; 31; 40) verbunden sind, z. B. durch wired-or - Schaltungen.

5. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 4, dadurch gekennzeichnet, daß er aus Koppereinheiten (22) für bedingte disjunktive Verknüpfungen aufgebaut ist, deren Logikplan mit Fig. 4 und deren Schaltungsbeispiel mit Fig. 5 beschrieben worden sind.
6. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß seine Eingänge (1; 2; 14; 15; 23; 24; 25) und/oder Ausgänge (3; 13; 16; 20; 25; 25a 25b) wahlweise miteinander (4; 5; 6; 7; 12; 13a; 13b; 25a; 25b) und/oder mit Logik-Gattern, Toren (8; 9), Negatoren (26; 26a; 27a), Verstärkern, Treibern, Wandlern, Sensoren, Effektoren, Flipflops, Registern, Speichern, Anpaßgliedern (27), Zuordnungseinheiten, Zuordnungsniveaus, Zuordnungskomplexen (vgl. WP 140 927, WP 149 723), Anschluß- oder Verbindungseinheiten (vgl. WP 234 948/8) oder anderen assoziativen Erfahrungsspeichern verbunden sind.
7. Assoziativer Erfahrungsspeicher nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwecks Konditionierbarkeit mehrerer Beziehungen zwischen den verifizierbaren Invarianten für mehrwertige Variablen oder zwischen Signalwerten von Signalpaaren pro Kreuzungspunkt der Leitungen (23; 24) oder Kanäle (14; 15) mehrere Koppereinheiten (17a; 17b; 22) so positioniert werden, daß sie mit den gleichen Leitungen (23; 24) oder Kanälen (14; 15) parallel verbunden sind.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

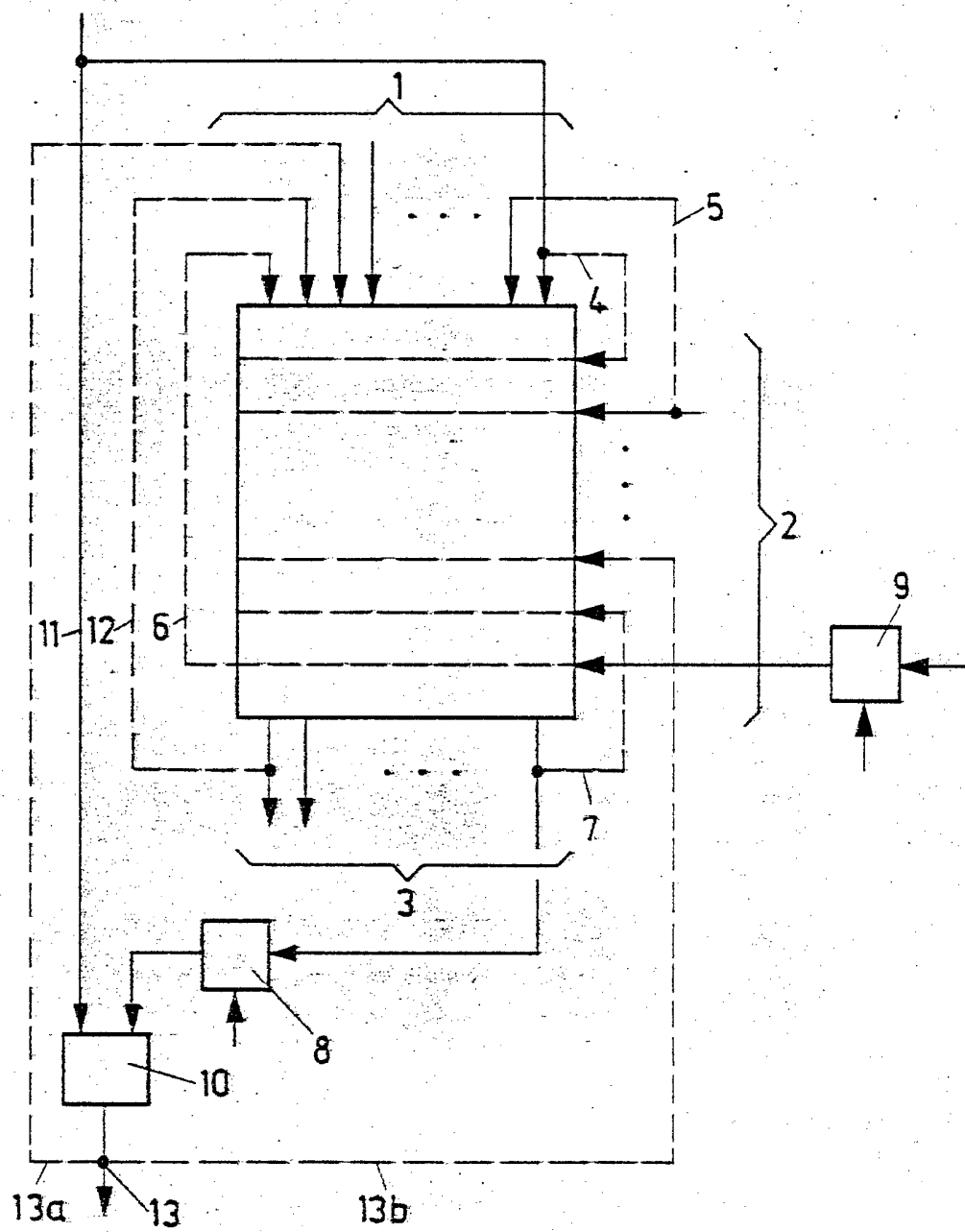


Fig.1

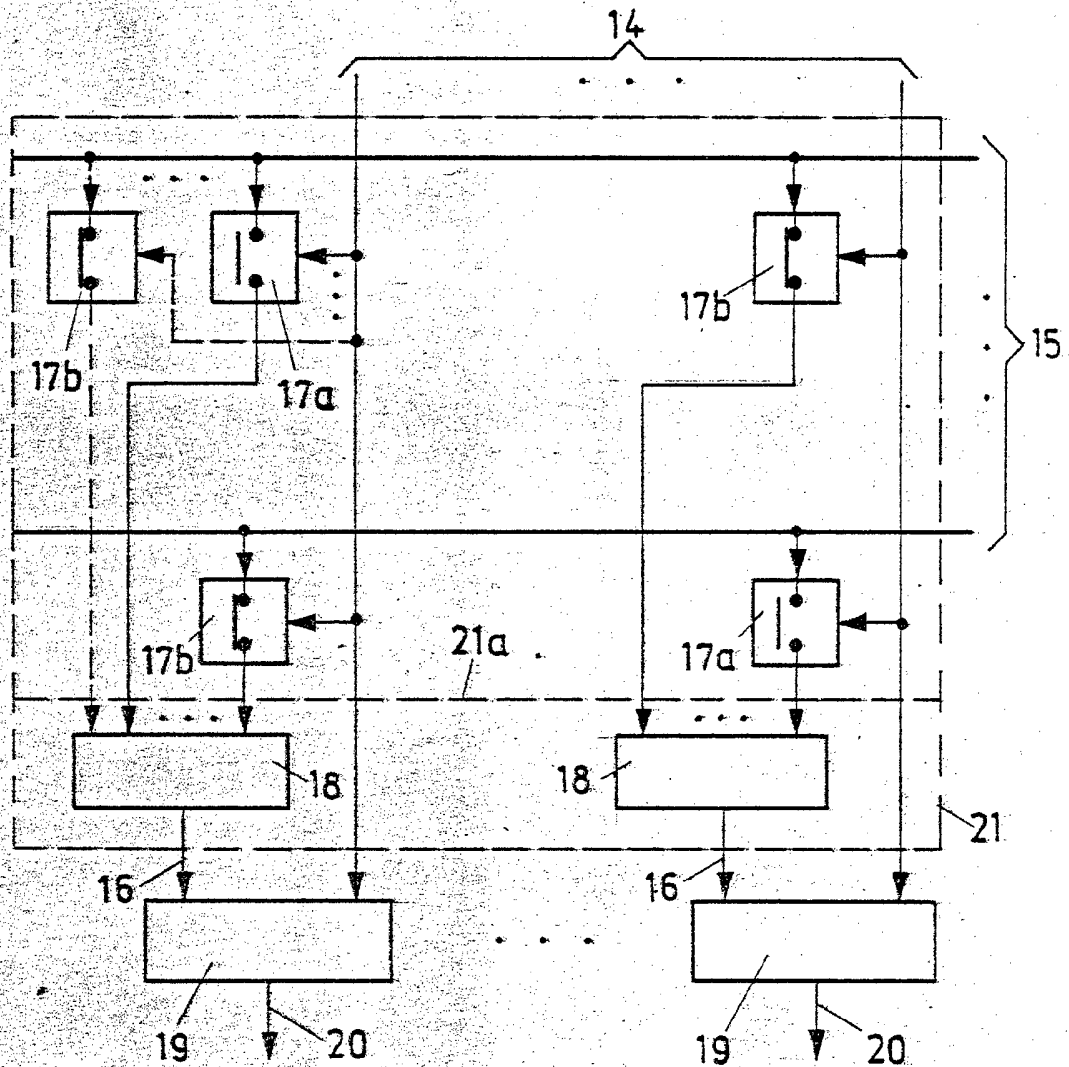


Fig. 2

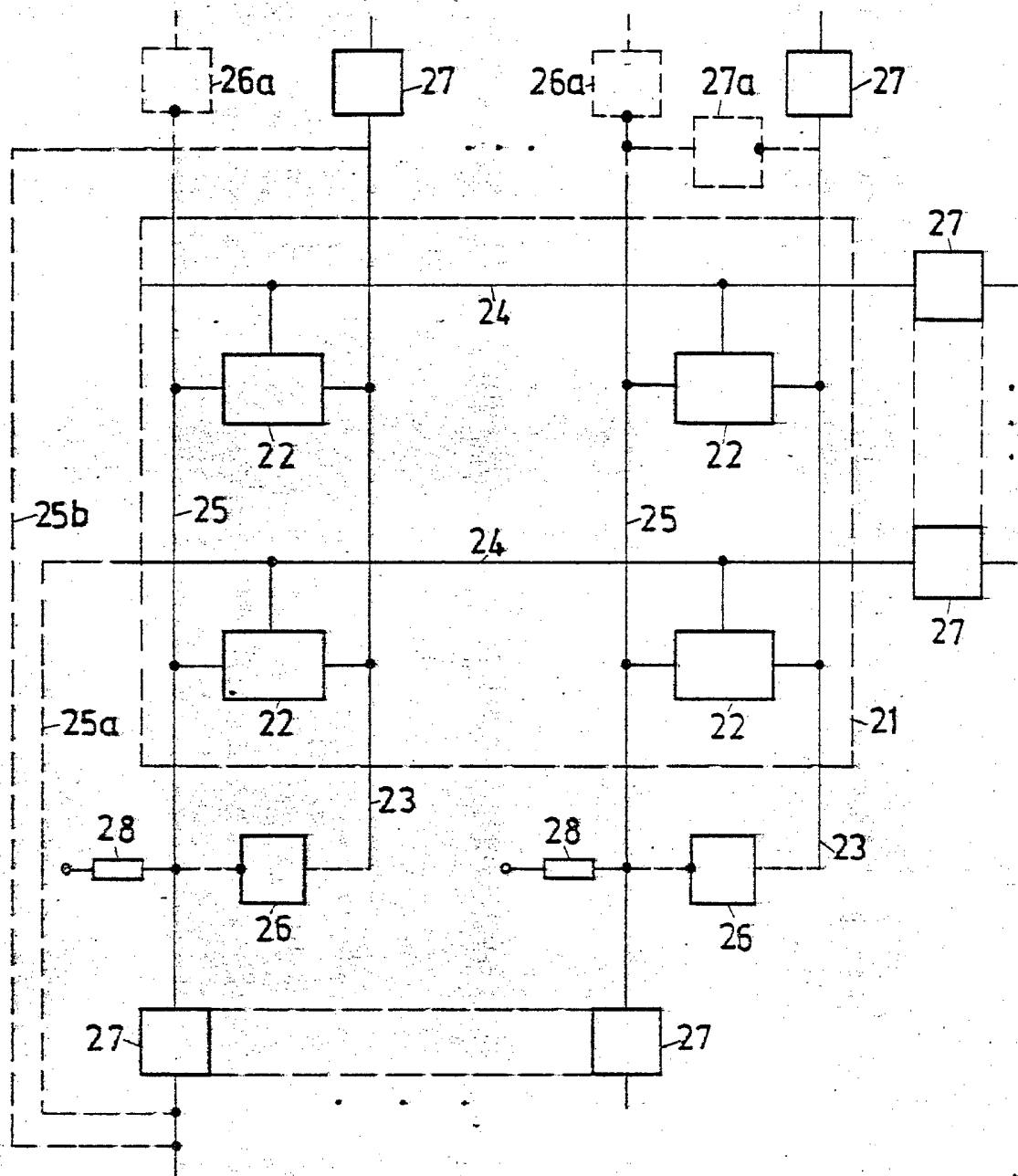


Fig.3

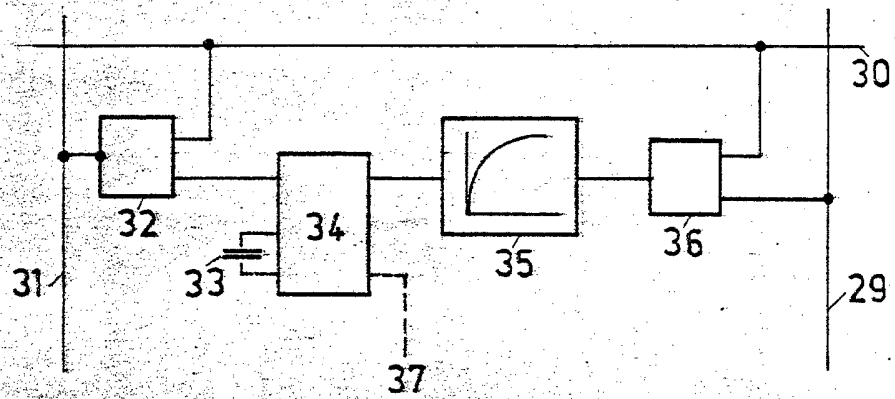


Fig. 4

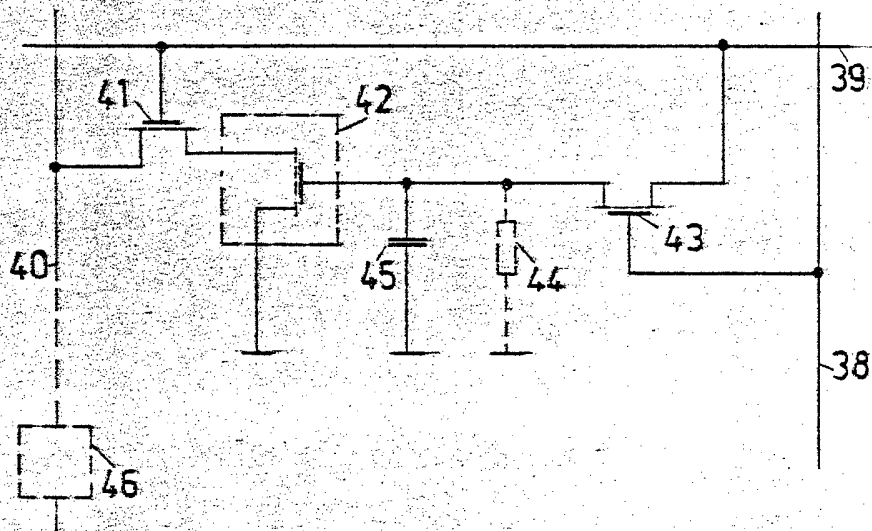


Fig. 5