



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.05.2026 Patentblatt 2026/20

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H04R 25/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **26169231.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G10L 21/0364; H04R 25/507

(22) Anmeldetag: **02.06.2025**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Erfinder: **MÜLLER, Michael**
91058 Erlangen (DE)

(30) Priorität: **09.07.2024 DE 102024206480**

(74) Vertreter: **FDST Patentanwälte**
Nordostpark 16
90411 Nürnberg (DE)

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
25180092.6 / 4 679 424

Bemerkungen:
Diese Anmeldung ist am 30-03-2026 als
Teilanmeldung zu der unter INID-Code 62 erwähnten
Anmeldung eingereicht worden.

(71) Anmelder: **Sivantos Pte. Ltd.**
Singapore 539775 (SG)

(54) **VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES HÖRGERÄTS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren (28) zum Betrieb eines Hörgeräts (2), das ein neuronales Netz (18) mit mehreren Neuronen (22) aufweist, denen jeweils ein Gewichtungsvektor (40) mit binären Gewichten (44) zugeordnet ist. Jedem Neuron (22) wird ein Eingangsvektor (34) mit binären Werten (36) zugeführt und mit dem Gewichtungsvektor (40) verarbeitet, um eine Über-

tragungsfunktion (42) zu erhalten. Die Übertragungsfunktion (42) wird mit einer Aktivierungsfunktion (48) derart bearbeitet, dass ein binäres Ergebnis (26) bereitgestellt wird. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren (52) zum Trainieren eines neuronalen Netzes (18) und ein Hörgerät (2).

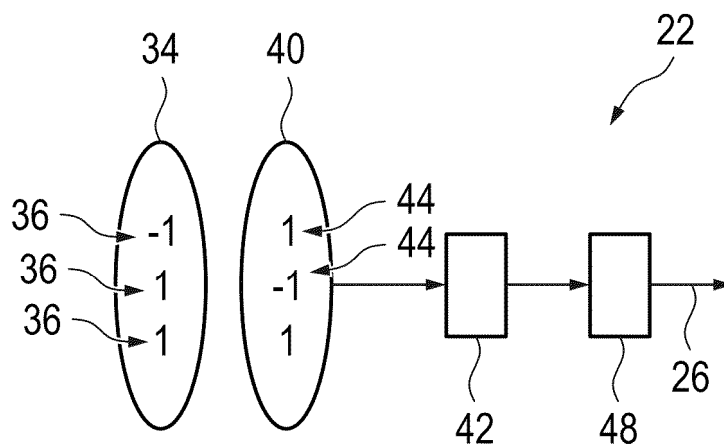


Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Hörgeräts mit einem neuronalen Netz. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Trainieren eines neuronalen Netzes sowie ein Hörgerät.

[0002] Personen, die unter einer Verminderung des Hörvermögens leiden, verwenden üblicherweise ein Hörhilfegerät. Hierbei wird meist mittels eines elektromechanischen Schallwandlers ein Umgebungsschall erfasst. Die anhand des Umgebungsschalls erstellten elektrischen (Audio-)Signale werden mittels einer Verstärkerschaltung verstärkt und mittels eines weiteren elektromechanischen Wandlers in Form eines Hörers in den Gehörgang der Person eingeleitet. Meist erfolgt zudem eine Bearbeitung der erfassten Audiosignale, wofür üblicherweise ein Signalprozessor der Verstärkerschaltung verwendet wird. Hierbei ist die Verstärkung auf einen etwaigen Hörverlust des Hörhilfegeräteträgers abgestimmt, der im Weiteren auch als Nutzer oder Träger bezeichnet wird.

[0003] Je nach aktueller Situation kann es erforderlich sein, die Bearbeitung zu verändern, um eine bessere Verständlichkeit für den Nutzer zu erreichen. Insbesondere bei Sprache ist es wünschenswert, für unterschiedliche Silben oder Laute unterschiedliche Bearbeitungen zu wählen. So führt beispielsweise das Verringern bei bestimmten Frequenzen zu einer verbesserten Verständlichkeit bei bestimmten Silben, wohingegen dies zu einer verringerten Verständlichkeit bei anderen Silben führt.

[0004] Eine Schwierigkeit bei dieser Verarbeitung besteht in der Unterscheidung zwischen Sprachanteilen und Störgeräuschanteilen im vom Hörgerät verarbeiteten Signal. Besonders geeignet zur Lösung dieses Problems sind künstliche neuronale Netzwerke (im folgenden einfach neuronale Netze genannt). Besonders geeignet für die Verarbeitung von Audiosignalen sind neuronale Netze mit vorwärtsgerichteten ("feedforward") Komponenten, bei welchen nur die aktuellen Eingangswerte den Zustand beeinflussen, sowie rekurrenten Komponenten, bei welchen der Zustand auch vom Ergebnis vergangener Verarbeitungsschritte beeinflusst wird. Damit neuronale Netze zur Unterscheidung von Sprach- und Störgeräuschanteilen im Signal geeignet sind, sind allerdings sehr große Netzwerke mit vielen Schichten nötig, das heißt, die Netze bestehen aus einer großen Zahl an Neuronen. Dies trifft auch auf andere typische Anwendungsfälle von neuronalen Netzen für Audiosignalverarbeitung zu. Durch ihre Größe weisen diese neuronalen Netze einen großen Hardware- und Energiebedarf auf, was für ein Hörgerät nicht wünschenswert ist, da diese möglichst kleinbauend und energiesparsam ausgestaltet sein sollen.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein besonders geeignetes Verfahren zum Betrieb eines Hörgeräts sowie ein besonders geeignetes Verfahren zum Trainieren eines neuronalen Netzes als auch ein besonders

geeignetes Hörgerät anzugeben, wobei insbesondere ein Komfort für einen Nutzer erhöht ist, und wobei zweckmäßigerweise Hardwareressourcen und/oder ein Energiebedarf verringert sind.

[0006] Hinsichtlich des Verfahrens zum Betrieb eines Hörgeräts wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1, hinsichtlich des Verfahrens zum Trainieren eines neuronalen Netzes durch die Merkmale des Anspruchs 5 und hinsichtlich des Hörgeräts durch die Merkmale des Anspruchs 8 erfindungsgemäß gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

[0007] Das Verfahren dient dem Betrieb eines Hörgeräts. Beispielsweise ist das Hörgerät ein Kopfhörer oder umfasst einen Kopfhörer, und das Hörgerät ist zum Beispiel ein Headset. Besonders bevorzugt ist das Hörgerät jedoch ein Hörhilfegerät. Das Hörhilfegerät dient der Unterstützung einer unter einer Verminderung des Hörvermögens leidenden Person. Mit anderen Worten ist das Hörhilfegerät ein medizinisches Gerät, mittels dessen beispielsweise ein partieller Hörverlust ausgeglichen wird. Das Hörhilfegerät ist beispielsweise ein "Receiver-in-the-canal"-Hörhilfegerät (RIC; Ex-Hörer-Hörhilfegerät), ein Im-Ohr-Hörhilfegerät, wie ein "in-the-ear"-Hörhilfegerät, ein "in-the-canal"-Hörhilfegerät (ITC) oder ein "complete-in-canal"-Hörhilfegerät (CIC), eine Hörbrille oder ein Taschenhörhilfegerät. Alternativ ist das Hörhilfegerät ein Hinter-dem-Ohr-Hörhilfegerät ("Behind-the-Ear"-Hörhilfegerät), das hinter einer Ohrmuschel getragen wird.

[0008] Das Hörgerät ist vorgesehen und eingerichtet, am menschlichen Körper getragen zu werden. Mit anderen Worten umfasst das Hörgerät bevorzugt eine Haltevorrichtung, mittels derer eine Befestigung am menschlichen Körper möglich ist. Sofern es sich bei dem Hörgerät um ein Hörhilfegerät handelt, ist das Hörgerät vorgesehen und eingerichtet, beispielsweise hinter dem Ohr oder innerhalb eines Gehörgangs angeordnet zu werden. Insbesondere ist das Hörgerät kabellos und dafür vorgesehen und eingerichtet, zumindest teilweise in einen Gehörgang eingeführt zu werden.

[0009] Das Hörgerät umfasst vorzugsweise ein Mikrofon, das dem Erfassen von Schall dient. Insbesondere wird bei Betrieb mittels des Mikrofons ein Umgebungsschall, also Schallwellen, erfasst, oder zumindest ein Teil hiervon. Das Mikrofon ist zweckmäßigerweise zumindest teilweise innerhalb eines Gehäuses des Hörgeräts angeordnet und somit zumindest teilweise geschützt. Bei dem Mikrofon handelt es sich geeigneterweise um einen elektromechanischen Schallwandler. Das Mikrofon weist beispielsweise lediglich eine einzige Mikrofoneinheit oder mehrere Mikrofoneinheiten auf, die miteinander wechselwirken. Jede der Mikrofoneinheiten weist zweckmäßigerweise eine Membran auf, die anhand von Schallwellen in Schwingungen versetzt wird, wobei die Schwingungen mittels eines entsprechenden Aufnahmegeräts, wie eines Magneten, der in einer Spule be-

wegt wird, in ein elektrisches Signal gewandelt wird. Alternativ hierzu sind die Mikrofoneinheiten kapazitiv ausgestaltet, und es wird der Umstand ausgenutzt, dass sich eine anliegende elektrische Spannung verändert, wenn sich die Distanz der Membran zu einer statischen Fläche der Mikrofoneinheit ändert. Dabei liegt die elektrische Spannung insbesondere zwischen der Membran und der statischen Fläche an. Die Mikrofoneinheiten sind vorzugsweise omnidirektional ausgestaltet. Auf diese oder andere Weise ist es zumindest möglich, mittels des Mikrofons ein Audiosignal zu erzeugen oder zumindest bereitzustellen, das auf dem auf das Mikrofon auftreffendem Schall, nämlich insbesondere dem Umgebungsschall, basiert.

[0010] Zweckmäßigerweise weist das Hörgerät einen Hörer zum Ausgeben eines Ausgangssignals auf. Das Ausgangssignal ist hierbei insbesondere ein elektrisches Signal, und beispielsweise digital oder geeigneterweise analog ausgestaltete. Der Hörer ist vorzugsweise ein elektromechanischer Schallwandler, zum Beispiel ein Lautsprecher. Je nach Ausgestaltung des Hörgeräts ist im bestimmungsgemäßen Zustand der Hörer zumindest teilweise innerhalb eines Gehörgangs eines Nutzers des Hörgeräts, also einer Person, die auch als Träger, Nutzer oder Hörgeräteträger bezeichnet wird, angeordnet oder zumindest akustisch mit diesem verbunden. Das Hörgerät dient insbesondere hauptsächlich dem Ausgeben des Ausgangssignals mittels des Hörers, wobei ein entsprechender Schall erstellt wird. Mit anderen Worten ist die Hauptfunktion des Hörgeräts bevorzugt das Ausgeben des Ausgangssignals.

[0011] Das Hörgerät umfasst geeigneterweise eine Signalverarbeitungseinheit, mittels derer das etwaige Mikrofon und der etwaige Hörer signaltechnisch verbunden sind. Zweckmäßigerweise weist das Hörgerät einen Signalprozessor auf, der zum Beispiel die Signalverarbeitungseinheit bildet oder zumindest ein Bestandteil hiervon ist. Der Signalprozessor ist beispielsweise ein digitaler Signalprozessor (DSP) oder mittels analoger Komponenten realisiert. Mittels des Signalprozessors oder zumindest der Signalverarbeitungseinheit erfolgt insbesondere eine Anpassung des mittels des Mikrofons erstellten Audiosignals, sodass vorzugsweise das Ausgangssignal erstellt ist. Zumindest ist die Signalverarbeitungseinheit hierfür geeignet, insbesondere vorgesehen und eingerichtet. Zweckmäßigerweise ist zwischen dem Mikrofon und der Signalverarbeitungseinheit, beispielsweise dem Signalprozessor, ein A/D-Wandler angeordnet, sofern der Signalprozessor als digitaler Signalprozessor ausgestaltet ist. Besonders bevorzugt umfasst das Hörgerät zusätzlich einen Verstärker, oder der Verstärker ist mittels der Signalverarbeitungseinheit zumindest teilweise gebildet. Beispielsweise ist der Verstärker signaltechnisch dem Signalprozessor vor- oder nachgeschaltet.

[0012] Das Hörgerät umfasst ferner ein neuronales Netz. Das neuronale Netz ist ein künstliches neuronales Netz/neuronales Netzwerk. Das neuronale Netz weist

mehreren Neuronen auf.

[0013] Die Neuronen sind insbesondere auf unterschiedliche Schichten aufgeteilt, die hintereinander angeordnet sind. Jedem Neuron ist ein Gewichtungsvektor zugeordnet, der verschiedene Gewichte umfasst. Die Anzahl der Gewichte ist hierbei insbesondere gleich oder größer zu der Anzahl der Neuronen der jeweils vorgelegten etwaigen Lage. Insbesondere weisen hierbei die Gewichtungsvektoren, die Neuronen unterschiedlicher Schichten zugeordnet sind, eine unterschiedliche Anzahl an Gewichten auf. Die Gewichte sind binär ausgestaltet. Somit liegen lediglich zwei unterschiedlichen Ausprägungen für jedes Gewicht vor, beispielsweise 0 (Null) und 1, oder besonders bevorzugt -1 und 1. Somit unterscheiden sich die beiden möglichen Ausprägungen des Gewichts lediglich anhand des Vorzeichens. Folglich ist es möglich, jedes Gewicht lediglich mittels eines einzigen Bits zu repräsentieren. Beispielsweise wird das neuronale Netz eigenständig verwendet. Alternativ hierzu ist das neuronale Netz ein Bestandteil eines übergeordneten neuronalen Netzes, bei dem beispielsweise die Gewichte nicht binär sind. Somit weist das übergeordnete neuronale Netz das neuronale Netz mit den binären Gewichten auf.

[0014] Bei dem Verfahren wird jedem Neuron ein Eingangsvektor zugeführt, der verschiedene Werte aufweist. Die Anzahl der Werte entspricht dabei der Anzahl der Gewichte des jeweils zugeordneten Gewichtungsvektors. Die Werte sind binär ausgestaltet und weisen somit ebenfalls lediglich zwei unterschiedliche Ausprägungen auf. Beispielsweise sind diese 0 (Null) und 1 oder vorzugsweise -1 und 1. Somit unterscheiden sich die verschiedenen Ausprägungen der Werte lediglich anhand des Vorzeichens. Auch hier ist es möglich, jeden der Werte lediglich mittels eines einzigen Bits zu repräsentieren. Beispielsweise werden zu Beginn die Werte binarisiert, insbesondere mittels eines anderen Verfahrens, oder in einem vorgelagerten Arbeitsschritt. Hierbei erfolgt beispielsweise ein Vergleich mit einem Schwellwert, um die zwei unterschiedlichen Ausprägungen des jeweiligen Werts zu realisieren.

[0015] Der Eingangsvektor und der Gewichtungsvektor werden miteinander verarbeitet, sodass eine Übertragungsfunktion erstellt wird. Mit anderen Worten werden der Eingangsvektor und der Gewichtungsvektor verarbeitet, um die Übertragungsfunktion zu erhalten. Diese wird auch als Propagierungsfunktion bezeichnet. Insbesondere wird hierfür eine Vektormultiplikation durchgeführt. Zweckmäßigerweise wird das Skalarprodukt des Gewichtungsvektors und des Eingangsvektors erstellt.

[0016] Die Übertragungsfunktion wird mit einer Aktivierungsfunktion bearbeitet und ein Ergebnis bereitgestellt. Dieses ist ebenfalls binär, und die Aktivierungsfunktion ist entsprechend ausgestaltet. Somit weist das Ergebnis lediglich eine von zwei Ausprägungen auf, die zweckmäßigerweise -1 und 1 sind. Insbesondere wird das binäre Ergebnis nachfolgend als einer der Werte eines anderen Eingangsvektor herangezogen, der ei-

nem anderen Neuron zugeführt wird, vorzugsweise einer nachgelagerten etwaigen Schicht. Beispielsweise werden dabei lediglich die Werte in einer Richtung zwischen den Schichten ausgetauscht. Mit anderen Worten handelt sich bei dem neuronalen Netz zweckmäßigerweise um ein vorwärtsgerichtetes neuronales Netz. Bevorzugt jedoch ist auch möglich, dass das Ergebnis der gleichen Schicht oder einer vorhergehenden Schicht zugeführt wird. Dies stellt den Unterschied zu einem lediglich vorwärtsgerichteten neuronalen Netz dar und bei dem neuronalen Netz handelt es sich zweckmäßigerweise um ein rekurrentes neuronales Netz. Besonders bevorzugt weist das neuronale Netz rekurrente Anteile als auch vorwärtsgerichtete Anteile auf.

[0017] Vorzugsweise wird dies bei jedem Neuron des neuronalen Netzes durchgeführt, und insbesondere mittels der letzten Lage der Neuronen wird ein vollständiges Ergebnis bereitgestellt, insbesondere ein Ergebnisvektor oder ein bestimmter Ergebniswert.

[0018] Aufgrund einer derartigen Ausgestaltung ist jedes Gewicht, jeder Werte und jedes Ergebnis lediglich mittels eines einzigen Bits repräsentierbar, weswegen ein Speicherbedarf vergleichsweise gering ist. Auch sind die durchzuführenden Rechenoperationen vergleichsweise aufwandsarm und deren Anzahl ist gering, sodass einerseits die Bereitstellung des Ergebnisses beschleunigt ist, wobei Hardwareressourcen verringert sind. Andererseits ist eine hierfür benötigte Energie verringert. Ferner ist keine Normalisierung erforderlich und erfolgt zweckmäßigerweise nicht, da lediglich binäre Werte/Gewichte/Ergebnisse verwendet werden. Somit ist auch deswegen die Anzahl an benötigten Rechenoperationen verringert, was Hardwareressourcen und den Energiebedarf weiter verringert. Somit ist es möglich, das Hörgerät vergleichsweise kleinbauend und leicht auszugestalten, wobei Herstellungskosten nicht übermäßig erhöht sind. Zumindest ist insbesondere eine Akkulaufzeit verlängert. Folglich ist eine Akzeptanz und somit ein Komfort für den Nutzer erhöht. Dabei ist eine Abarbeitung von bestimmten Funktionen oder Aufgaben des Hörgeräts mittels des neuronalen Netzes ermöglicht, sodass eine Genauigkeit bei der Durchführung und/oder ein Komfort für den Nutzer erhöht ist.

[0019] Beispielsweise wird als Übertragungsfunktion das Skalarprodukt des Gewichtungsvektors mit dem Eingangsvektor erstellt, wofür insbesondere jedes Gewicht mit dem jeweils zugeordneten Wert multipliziert wird, und wobei die auf diese Weise erstellten Produkte aufsummiert werden. Besonders bevorzugt jedoch wird hierfür die XNOR-Operation herangezogen, also insbesondere eine Äquivalenzfunktion durchgeführt. Zweckmäßigerweise wird also ein XNOR-Gatter verwendet. Somit wird anstatt des Erstellens des Produkts lediglich überprüft, ob das jeweilige Gewicht gleich dem jeweiligen Wert ist. Wenn dies der Fall ist, wird eine mögliche Ausprägung genommen, und ansonsten eine andere mögliche Ausprägung. Insbesondere sind hierbei die möglichen Ausprägungen der Gewichte und der Werte jeweils -1 und 1,

und als Ergebnis der XNOR-Operation wird somit ebenfalls entweder -1 oder 1 ausgegeben. Eine derartige Rechenoperation ist mittels Software oder Hardware vergleichsweise zeitsparendes und ressourcenschonend durchzuführen, und es ist keine Multiplikation erforderlich. Dabei ist das Ergebnis der XNOR-Operation gleich dem Ergebnis des Produkts ist. Somit sind Hardwareressourcen und der Energiebedarf weiter verringert, wobei dennoch das gleiche Ergebnis erhalten wird

[0020] Beispielsweise wird als Aktivierungsfunktion eine Vergleichsfunktion herangezogen, und zum Erstellen des Ergebnisses wird die Übertragungsfunktion mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen. Wenn die Übertragungsfunktion größer als dieser ist, wird die eine mögliche Ausprägung und ansonsten die andere mögliche Ausprägung als jeweiliges Ergebnis verwendet. Hierbei ist der Grenzwert beispielsweise beliebig oder vorzugsweise gleich 0 (Null). Besonders bevorzugt wird als Aktivierungsfunktion lediglich das Vorzeichen der Übertragungsfunktion herangezogen. Wenn die Übertragungsfunktion positiv ist, ist das Vorzeichen 1 und ansonsten -1. Dies entspricht im Wesentlichen dem Vergleich mit einem Grenzwert von 0, wobei jedoch eine Verarbeitung erleichtert ist. So ist es bei der Verwendung des Vorzeichens lediglich erforderlich, das Bit, mittels dessen das Vorzeichen repräsentiert ist, auszulesen und als das Ergebnis zu verwenden. Ein expliziter Vergleich mit dem Grenzwert hingegen ist nicht erforderlich. Somit ist die Anzahl an benötigten Rechenoperationen weiter verringert, und somit habe auch die nötigen Hardwareressourcen sowie ein Energiebedarf. Auch ist auf diese Weise keine anschließende Normalisierung erforderlich. Zweckmäßigerweise wird für das binäre Ergebnis entweder 1 oder -1 verwendet.

[0021] Beispielsweise wird der Eingangsvektor anhand von Messdaten eines Sensors des Hörgeräts ermittelt, beispielsweise erstellt. Als Sensor wird zum Beispiel ein Bewegungssensor verwendet. Besonders bevorzugt jedoch wird der Eingangsvektor anhand von erfassten Audiosignalen erstellt, also insbesondere anhand einer Zeitreihe. Dabei korrespondiert der Eingangsvektor, beispielsweise direkt zu dem Audiosignal oder zumindest zu dem teilweise bearbeiteten Audiosignal, zumindest bei der ersten Lage des neuronalen Netzes. Bei den nachfolgenden Schichten hingegen ist der Eingangsvektor zweckmäßigerweise mittels der Ergebnisse der jeweils vorhergehenden Lage gebildet. Diese basieren jedoch ebenfalls auf dem Audiosignal, sodass auch dort die jeweiligen Eingangsvektoren anhand des erfassten Audiosignals erstellt sind. Somit ist es ermöglicht, mittels des neuronalen Netzes eine aktuelle Umgebung des Hörgeräts vergleichsweise genau zu ermitteln.

[0022] Alternativ oder besonders bevorzugt in Kombination hierzu wird anhand der Ergebnisse, also zumindest eines Teils der mittels der Neuronen bereitgestellten Ergebnisse, insbesondere der Ergebnisse der Neuronen der letzten Lage des neuronalen Netzes, eine Prognose

für die zukünftige Audiosignale erstellt, was insbesondere den "output" des neuronalen Netzes darstellt. Mit anderen Worten wird insbesondere anhand des Ergebnisvektors oder des Ergebniswerts die Prognose erstellt, oder diese entsprechen der Prognose. Zusammenfassend wird eine Annahme getroffen, wie sich die akustische Umgebung des Hörgeräts verändern wird, insbesondere wie ein aktueller Satz oder Wort weitergeführt wird. Hierfür werden insbesondere die Eingangsvektor anhand der erfassten Audiosignalen erstellt. Somit wird ein insbesondere die Annahme getroffen, was die nachfolgende Silbe sein wird. Zweckmäßigerweise wird anhand der Prognose eine Anpassung der etwaigen Signalverarbeitungseinheit durchgeführt, wobei vorzugsweise die etwaige Bearbeitung des erfassten Audiosignals verändert wird. Wenn dann das nachfolgende Audiosignal der Prognose entspricht, ist für den Nutzer die Verständlichkeit verbessert. Da es sich beispielsweise um ein rekurrentes neuronales Netz handelt, mittels dessen Zeitreihen vergleichsweise effektiv analysiert werden können, ist die Genauigkeit der Prognose insbesondere verbessert.

[0023] Bevorzugt hängt die genaue Ausgestaltung der Prognose/ des "outputs" vom Anwendungszweck des neuronalen Netzes ab, wird jedoch bevorzugt von anderen Komponenten des Hörgeräts weiterverarbeitet. Bevorzugt wird die Prognose/ der "output" verwendet, um die Schallausgabe am etwaigen Hörer zu beeinflussen, beispielsweise indem das Netzwerk eine Schätzung von Sprach- und Störgeräuschanteilen im Audiosignal erzeugt, welche dazu verwendet wird, frequenzabhängige Verstärkungsfaktoren einzustellen. Auf diese Weise wird für den Nutzer die Verständlichkeit verbessert. Da es sich beispielsweise um ein rekurrentes neuronales Netz handelt, mittels dessen Zeitreihen vergleichsweise effektiv analysiert werden können, ist die Genauigkeit der Unterscheidung von Sprache und Störgeräuschen insbesondere verbessert.

[0024] Das andere Verfahren dient dem Trainieren eines neuronalen Netzes für ein Hörgerät, das mehreren Neuronen aufweist, und das beispielsweise ein rekurrentes neuronales Netz ist oder zumindest der rekurrente Anteile aufweist. Jedem Neuron ist dabei ein Gewichtsvektor mit binären Gewichten zugeordnet, zumindest wenn das neuronale Netz fertig angelern, also trainiert ist. Im angelerten Zustand, also wenn das neuronale Netz verwendet wird, wird jedem Neuron ein Eingangsvektor mit binären Werten zugeführt. Die Gewichtsvektoren und Eingangsvektoren werden miteinander verarbeitet, um eine jeweilige Übertragungsfunktion zu erhalten. Die Übertragungsfunktion wird mit einer Aktivierungsfunktion derart bearbeitet, dass ein binäres Ergebnis bereitgestellt wird.

[0025] Das Verfahren dient dabei insbesondere dem Ermitteln der Gewichte. Das Verfahren wird hierbei beispielsweise mittels des Hörgeräts selbst durchgeführt oder zum Beispiel von einem Hersteller des Hörgeräts. In diesem Fall wird insbesondere das Hörgerät mit dem

bereits fertig angelerten, also trainierten, neuronalen Netz ausgeliefert. Bei dem Verfahren werden hierbei mehrere Trainingsschritte durchgeführt, und bei jedem Trainingsschritt werden insbesondere die Gewichte geeignet angepasst. Vorzugsweise werden dabei die Trainingsschritte zeitlich nacheinander durchgeführt.

[0026] Bei jedem Trainingsschritt werden zweckmäßigerweise zunächst die Gewichte verändert. Dies erfolgt beispielsweise beliebig, wobei zweckmäßigerweise bestimmte Vorgaben eingehalten werden, oder in einer vorgegebenen Art und Weise. Gemäß dem Verfahren werden zunächst die Gewichte binarisiert. Mit anderen Worten wird jedem Gewicht eine von lediglich zwei möglichen Ausprägungen zugeordnet. Mit anderen Worten erfolgt eine Digitalisierung, oder eine binäre Abbildung eines vorhandenen Gewichts auf eine der zwei Ausprägungen. Zweckmäßigerweise ist aber eine der Ausprägungen -1 und die andere 1.

[0027] Die binarisierten Gewichte werden normalisiert. Somit ist sichergestellt, dass alle Gewichtsvektoren bei diesem Trainingsschritt und/oder bei nachfolgenden Trainingsschritten stets die gleiche Norm aufweisen, also insbesondere die gleiche Länge. Zur Normalisierung wird jedes Gewicht mit einer jeweiligen Normalisierungskonstanten multipliziert. Hierbei ist die Normalisierungskonstanten für sämtliche Gewichte gleich, die dem gleichen Gewichtsvektor zugeordnet sind. Dabei ist es möglich, dass sich die unterschiedlichen Gewichtsvektoren zugeordneten Normalisierungskonstanten unterscheiden. Zusammenfassend gilt insbesondere jede Normalisierungskonstante lediglich für die Gewichte, die dem jeweils gleichen Gewichtsvektor zugeordnet sind. Die Normalisierungskonstanten ist reziprok proportional zur euklidischen Norm des jeweiligen Gewichtsvektors. Mit anderen wird hierfür jedes Gewicht durch die euklidische Norm geteilt, oder die Normalisierungskonstante umfasst noch weitere Bestandteile. Beispielsweise erfolgt zusätzlich eine Multiplikation mit einem bestimmten Faktor. Die euklidische Norm entspricht insbesondere der Länge des Gewichtsvektors. Da die Gewichte vor der Normalisierung jedoch binär sind, und vorzugsweise gleich -1 oder 1, ist die Normierungskonstante somit gleich der Anzahl der Gewichte des jeweiligen Gewichtsvektors. Die Normalisierungskonstante ist somit stets gleich und nicht von Statistiken oder dergleichen abhängig, weswegen zur Durchführung des Trainings lediglich geringe Hardwareressourcen erforderlich sind.

[0028] Nachfolgend wird für jedes Neuron anhand des jeweiligen Gewichtsvektors, der nunmehr nominiert ist, die jeweilige Übertragungsfunktion erstellt. Hierfür werden der Gewichtsvektoren mit einem zugeführten Eingangsvektor verarbeitet, wobei die die Gewichte aufgrund der Normierung nicht lediglich die Ausprägung von -1 und 1 aufweisen. Insbesondere entspricht die Übertragungsfunktion dem Skalarprodukt aus dem Gewichtsvektor und dem zugeführten Eingangsvektor. Nachfolgend wird die Übertragungsfunktion mit der Aktivi-

erungsfunktion derart bearbeitet, dass das binäre Ergebnis bereitgestellt wird.

[0029] Vorzugsweise wird dies für sämtliche Neuronen des neuronalen Netzes durchgeführt, wobei pro Trainingsschritt insbesondere einmalig sämtliche Neuronen verwendet werden. Zweckmäßigerweise wird mittels des neuronalen Netzwerks der etwaige Ergebnisvektor oder der Ergebniswert ausgegeben. Vorzugsweise wird anhand dessen und einer Kostenfunktion ein weiterer Wert ermittelt. Bei der Durchführung der Kostenfunktion erfolgt insbesondere ein Vergleich mit einem gewünschten Ergebnisvektor/Ergebniswert, der, vorzugsweise ebenso wie zumindest ein Teil der Eingangsvektoren, mittels Trainingsdaten bereitgestellt ist.

[0030] Beispielsweise bestehen bestimmte Vorgaben bei der Wahl der Gewichte zu Beginn jedes Trainingsschritt. Bevorzugt jedoch sind hierbei keine Vorgaben vorhanden, und die Gewichte können zu Beginn, insbesondere zu Beginn des Trainings, oder bei jedem Trainingsschritt, im Wesentlichen beliebig gewählt werden. Somit kann insbesondere ein bereits bestehender Algorithmus verwendet werden, weswegen ein Aufwand reduziert ist. Auch ist es möglich, das Verfahren auf einer bereits bestehenden Hardware oder Software vergleichsweise effizient umzusetzen.

[0031] Zweckmäßig werden nach dem Durchführen der Trainingsschritte, also wenn insbesondere der bereitgestellte Ergebnisvektor/Ergebniswert ausreichend genau mit den Trainingsdaten übereinstimmt, die Gewichte binarisiert und mit dem Vorzeichen der jeweiligen Normierungskonstanten multipliziert. Somit weist dann jeder der Gewichtungsvektoren lediglich die binären Gewichte auf. Somit ist es nachfolgend möglich, die Gewichtungsvektoren direkt zum Betrieb des Hörgeräts zu verwenden.

[0032] Das Hörgerät ist beispielsweise ein Headset oder besonders bevorzugt ein Hörhilfegerät. Zum Beispiel ist das Hörhilfegerät ein "Receiver-in-the-canal"-Hörhilfegerät (RIC; Ex-Hörer-Hörhilfegerät), ein Im-Ohr-Hörhilfegerät, wie ein "in-the-ear"-Hörhilfegerät, ein "in-the-canal"-Hörhilfegerät (ITC) oder ein "complete-in-canal"-Hörhilfegerät (CIC), eine Hörbrille oder ein Taschenhörhilfegerät. Alternativ ist das Hörhilfegerät ein Hinter-dem-Ohr-Hörhilfegerät ("Behind-the-Ear"-Hörhilfegerät), das hinter einer Ohrmuschel getragen wird.

[0033] Das Hörgerät weist vorzugsweise ein Mikrofon auf. Dieses ist beispielsweise omnidirektional ausgestaltet, oder geeigneterweise ist es möglich, eine Richtcharakteristik des Mikrofons zu verändern. Hierfür weist das Mikrofon vorzugsweise zwei oder mehr Mikrofoneinheiten auf. Das Mikrofon ist hierbei zum Erfassen eines Umgebungsschalls geeignet, insbesondere vorgesehen und eingerichtet. Zweckmäßigerweise wird mittels des Mikrofons ein Audiosignal erstellt, wenn der Umgebungsschall erfasst wird. Das Hörgerät, weist zweckmäßigerweise eine Signalverarbeitungseinheit auf, die vorzugsweise signaltechnisch mit dem Mikrofon verbunden ist. Insbesondere wird hierbei bei Betrieb das Audio-

signal der Signalverarbeitungseinheit zugeleitet. Vorzugsweise umfasst das Hörgerät einen Hörer, mittels dessen das bearbeitete Audiosignal ausgegeben wird, und das zweckmäßigerweise signaltechnisch mit der Signalverarbeitungseinheit verbunden ist.

[0034] Das Hörgerät weist ferner ein neuronales Netz mit mehreren Neuronen auf. Geeigneterweise sind hierbei die Neuronen auf verschiedene Schichten aufgeteilt. Zum Beispiel ist das neuronale Netz lediglich mittels Software realisiert, oder das Hörgerät weist hierfür dedizierte Hardware auf, insbesondere einen hierauf angepassten Chip. Vorzugsweise ist das neuronale Netz der Signalverarbeitungseinheit zugeordnet. Beispielsweise ist das neuronale Netz lediglich ein rekurrentes neuronales Netz oder lediglich ein vorwärtsgerichtetes neuronales Netz. Bevorzugt jedoch weist das neuronale Netz sowohl rekurrente als auch vorwärtsgerichtete Anteile auf.

[0035] Jedem Neuron ist, zumindest im Normalbetrieb, ein Gewichtungsvektor mit binären Gewichten zugeordnet. Das Hörgerät ist gemäß einem Verfahren betrieben, bei dem jedem Neuron ein Eingangsvektor mit binären Werten zugeführt und mit dem Gewichtungsvektor verarbeitet wird, um eine Übertragungsfunktion zu erhalten. Die Übertragungsfunktion wird mit einer Aktivierungsfunktion derart bearbeitet wird, dass ein binäres Ergebnis bereitgestellt wird. Alternativ oder Vorzugsweise in Kombination hierzu wird mittels des Hörgeräts ein Verfahren zum Trainieren des neuronalen Netz durchgeführt, beispielsweise lediglich einmalig, oder auch während der Nutzung, zweckmäßigerweise in bestimmten zeitlichen Abständen. Hierbei werden die Gewichte binarisiert und normalisiert, wofür diese mit einer jeweiligen Normalisierungskonstanten multipliziert werden, die reziprok proportional zur euklidischen Norm des jeweiligen Gewichtungsvektors ist. Für jedes Neuron wird anhand des jeweiligen Gewichtungsvektors die jeweilige Übertragungsfunktion erstellt, und die Übertragungsfunktion wird mit der Aktivierungsfunktion derart bearbeitet, dass ein binäres Ergebnis bereitgestellt wird.

[0036] Zweckmäßigerweise ist die Signalverarbeitungseinheit geeignet, insbesondere vorgesehen und eingerichtet, zumindest teilweise eines oder beide Verfahren durchzuführen.

[0037] Die im Zusammenhang mit den beiden Verfahren erläuterten Weiterbildungen und Vorteile sind sinngemäß auch auf das Hörgerät sowie untereinander zu übertragen und umgekehrt.

[0038] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- Fig. 1 schematisch vereinfacht ein Hörgerät mit einem neuronalen Netz,
- Fig. 2 schematisch das mehrere Neuronen aufweisende neuronale Netz,
- Fig. 3 ein Verfahren zum Betrieb des Hörgeräts,
- Fig. 4 schematisch ein Neuron, und

Fig. 5 ein Verfahren zum Trainieren des neuronalen Netzes.

[0039] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0040] In Figur 1 ist schematisch vereinfacht ein Hörgerät 2 gezeigt. Das Hörgerät 2 weist ein Gehäuse 4 auf, innerhalb dessen ein Mikrofon 6 angeordnet ist. Das Mikrofon 6 weist mehrere nicht näher dargestellte Mikrofoneinheiten auf, die jeweils als elektromechanischer Schallwandler oder kapazitiver Schallwandler ausgestaltet sind. Dem Mikrofon 6 ist signaltechnisch eine Signalverarbeitungseinheit 8 nachgeschaltet. Der Signalverarbeitungseinheit 8 ist signaltechnisch ein Hörer 10 nachgeschaltet, mittels dessen es möglich ist, bei bestimmungsgemäßer Verwendung durch einen Nutzer Schall in einen Gehörgang des nicht näher dargestellten Nutzers auszugeben.

[0041] Die Signalverarbeitungseinheit 8 weist eine Bearbeitungseinheit 12 auf, mittels derer ein bei Betrieb mittels des Mikrofons 6 bereitgestelltes Audiosignal 14 bearbeitet wird, sodass ein Ausgangssignal 16 bereitgestellt wird. Hierbei erfolgt eine frequenzselektive Verstärkung und/oder Dämpfung, sodass beispielsweise ein Rauschen oder sonstige störende Geräusche unterdrückt werden. Die Bearbeitungseinheit 12 weist hierfür beispielsweise einen digitalen Soundprozessor auf. Auch wird zum Beispiel eine Kompression durchgeführt, sodass ein Frequenzspektrum des Ausgangssignals 16 im Vergleich zu dem Audiosignal 14 verkleinert ist. Das Ausgangssignal 16 wird zu dem Hörer 10 geleitet, sodass der mittels des Hörers 10 ausgegebene Schall zu dem Ausgangssignal 16 korrespondiert.

[0042] Die Signalverarbeitungseinheit 8 umfasst ferner ein neuronales Netz 18, dem ebenfalls das Audiosignal 14 zugeführt wird, und das rekurrente Anteile aufweist. Mittels des neuronalen Netzes 18 wird eine Prognose 20 für zukünftige Audiosignale erstellt, die der Bearbeitungseinheit 12 zugeführt wird. In Abhängigkeit der Prognose 20 erfolgt eine Einstellung der Bearbeitungseinheit 12, also insbesondere die Auswahl von Verstärkungsfaktoren für unterschiedliche Frequenzen. Dabei wird die Bearbeitungseinheit 12 auf das wahrscheinlich zeitlich nachfolgende und mittels des Mikrofons 6 bereitgestellte Audiosignal 14 eingestellt, sodass eine verbesserte Bearbeitung erfolgt. Somit ist bei dem mittels des Hörers 12 ausgegebene Schall für den Nutzer eine Verständlichkeit erhöht. Zusammenfassend wird insbesondere anhand des neuronalen Netzes 18 aus dem Audiosignal 14 und beispielsweise aus anderen Sensordaten, z.B. Beschleunigungswerten, Zwischenwerte berechnet, die die Prognose 20 darstellen, und die für die Bearbeitung des Audiosignals 14 nützlich sind. Zum Beispiel wird die An- oder Abwesenheit von Sprache geschätzt ("voice activity detection").

[0043] In Figur 2 ist schematisch vereinfacht das neuronale Netz 18 dargestellt, das auch lediglich als neuronales Netz bezeichnet ist. Das neuronale Netz 18 weist

mehrere Neuronen 22 auf, die unterschiedlichen Schichten 24 zugeordnet sind, wobei in dem dargestellten Beispiel drei Schichten 24 gezeigt. Mittels jedes Neurons 22 wird ein Ergebnis 26 bereitgestellt, das den Neuronen 22 der jeweils nachfolgenden Lage 24 zugeordnet wird. Jedoch ist es auch möglich, dass eines oder mehrerer der Ergebnis 26 einem der Neuron 22 der gleichen Lage 24 oder einer der vorhergehenden Schichten 24 zugeleitet wird. Der Übersichtlichkeit halber sind in Figur 2 lediglich einige der Ergebnis 26 gezeigt. Der ersten der Lage 24 wird dabei das Audiosignal 24 zugeordnet, und die Ergebnisse 26 der Neuronen 22 der letzten der Schichten 24 bilden die Prognose 20.

[0044] In Figur 3 ist ein Verfahren 28 zum Betrieb des Hörgeräts 2 dargestellt. In einem ersten Arbeitsschritt 30 wird mittels des Mikrofons 6 das Audiosignal 14 bereitgestellt. Dieses wird zu dem neuronalen Netz 18 geleitet. In einem nachfolgenden zweiten Arbeitsschritt 32 wird anhand des erfassten Audiosignals 18 ein Eingangsvektor 34 erstellt, der den Neuronen 22 der ersten Lage 24 zugeführt wird, von denen eines in Figur 4 schematisch gezeigt ist. Der Eingangsvektor 34 weist dabei mehrere binäre Werte 36 auf, die auch lediglich als Werte bezeichnet sind. Die Werte 36 können hierbei zwei unterschiedliche Ausprägungen annehmen, nämlich -1 und 1.

[0045] In einem sich anschließenden dritten Arbeitsschritt 38 wird der jeweils zugeführte Eingangsvektor 34 mit einem dem jeweiligen Neuronen 22 zugeordneten Gewichtsvektor 40 verarbeitet, sodass eine Übertragungsfunktion 42 erstellt wird. Mit anderen Worten wird der Eingangsvektor 34 mit dem Gewichtsvektor 40 verarbeitet, um die Übertragungsfunktion 42 zu erhalten. Der Gewichtsvektor 40 weist mehrere binäre Gewichte 44 auf, die auch lediglich als Gewichte bezeichnet werden. Jedes binäre Gewicht 44 kann lediglich zwei Ausprägungen annehmen, nämlich entweder -1 und 1. Die Anzahl der binären Gewichte 44 ist dabei gleich der Anzahl der binären Werte 36 des jeweils zugeführten Eingangsvektor 34, und jedem der Gewichte 44 ist jeweils einer der Werte 36 zugeordnet.

[0046] Zum Erstellen der Übertragungsfunktion 42 wird eine XNOR-Operation durchgeführt. Dabei wird überprüft, ob das jeweilige binäre Gewicht 44 gleich dem jeweils zugeordneten binären Werten 36 ist. Wenn diese übereinstimmen wird als Resultat der XNOR-Operation 1 und ansonsten -1 herangezogen. Die Summe der Resultate entspricht der Übertragungsfunktion 42. Zusammenfassend wird als Übertragungsfunktion 42 die Summe der Operation XNOR auf alle binären Werte 36 und der jeweils zugeordneten binären Gewichte 44 herangezogen.

[0047] In einem nachfolgenden vierten Arbeitsschritt 46 wird die Übertragungsfunktion 42 mit einer Aktivierungsfunktion 48 bearbeitet, sodass das jeweilige Ergebnis 26 bereitgestellt wird. Dabei wird als Aktivierungsfunktion 48 das Vorzeichen der Übertragungsfunktion 42 herangezogen. Das Ergebnis 26 ist somit ebenfalls bi-

näre, und entspricht 1, wenn die Übertragungsfunktion positiv ist und ansonsten -1.

[0048] Die auf diese Weise ermittelten Ergebnis 26 einer der Schichten 24 werden zu dem Eingangsvektor 34 für die nachfolgende Lage 24 zusammengefasst. Gegebenenfalls werden auch andere Ergebnisse 26 zu dem jeweiligen Eingangsvektor 34 hinzugefügt.

[0049] Der zweite bis vierte Arbeitsschritte 32-46 werden für sämtliche Neuronen 22 durchgeführt, insbesondere schichtenweise, oder gegebenenfalls auch in einer anderen Reihenfolge. Da sämtliche Ergebnisse 26, zumindest indirekt, anhand der erfassten Audiosignalen 18 erstellt sind, werden folglich alle Eingangsvektoren 34 anhand der erfassten Audiosignalen 18 erstellt. Die Ergebnis 26 der letzten Lage 24 werden abschließend zu der Prognose 20 zusammengefasst.

[0050] Nachdem mittels sämtlicher Neuronen 22 zumindest einmalig das jeweilige Ergebnis 26 erstellt wurde, wird ein fünfter Arbeitsschritt 50 durchgeführt, und die Prognose 20 ausgegeben, anhand derer dann insbesondere die Bearbeitungseinheit 12 eingestellt wird. Mittels dieser wird dann das Audiosignal 24 entsprechend der Erstellung bearbeitet, sodass das Ausgangssignal 16 erstellt werden kann.

[0051] Für die Bereitstellung der Prognose 20 ist dabei als Speicherplatz für jedes der Gewichte 44 lediglich 1 Bit und für jeden der Werte 36 ebenfalls nur 1 Bit erforderlich im Vergleich zu 8 Bit bei der Verwendung von nicht binären Werten/Gewichten. Somit ist ein erforderlicher Speicherbedarf auf ungefähr ein Achtel reduziert. Bei der Durchführung der XNOR-Operation kann eine in einem jeweiligen Chip hinterlegte boolesche Operation herangezogen werden, und es ist keine Multiplikation mit mehreren einzelnen Rechenoperationen erforderlich. Ferner erfolgt keine Normalisierung, und zum Durchführen der Aktivierungsfunktion 48 wird lediglich das Bit ausgelesen, das dem Vorzeichen der Übertragungsfunktion 42 zugeordnet ist. Somit sind auch hier keine Rechenoperationen erforderlich. Zusammenfassend erfolgt das Ermitteln der Prognose 20 vergleichsweise ressourcenschonend, weswegen ein Energiebedarf zur Durchführung des Verfahrens 28 zum Betrieb des Hörgeräts 2 vergleichsweise gering ist.

[0052] In Figur 5 ist ein Verfahren 52 zum Trainieren des neuronalen Netzes 18 gezeigt. Dieses wird beispielsweise von einem Hersteller des Hörgeräts 2 durchgeführt, insbesondere bevor das Hörgerät 2 dem Nutzer zur Verfügung gestellt wird. Alternativ hierzu wird das Verfahren 52 zum Trainieren des neuronalen Netzes 18 von dem Nutzer durchgeführt, beispielsweise bei Aufnahme der Nutzung, oder wenn der Nutzer dieses bereits für einen bestimmten Zeitraum in Benutzung hatte, beispielsweise eine Woche oder einen Monat. In einer weiteren Alternative wird das Verfahren 52 zum Trainieren des neuronalen Netzes 18 mehrmals in bestimmten zeitlichen Abständen durchgeführt. Das Verfahren 52 zum Trainieren des neuronalen Netzes 18 wird dabei insbesondere mittels des Hörgeräts 2 selbst durchgeführt.

[0053] Das Verfahren 52 zum Trainieren des neuronalen Netzes 18 wird in einem sechsten Arbeitsschritt 54 begonnen. In diesem werden zunächst sämtliche Gewichte 44 beliebig gewählt. Mit anderen Worten besteht keine Einschränkung hinsichtlich der Ausprägung, und diese können aus einem kontinuierlichen Wertebereich ausgewählt werden.

[0054] In eine sich anschließenden siebten Arbeitsschritt 56 werden die Gewichte 44 binarisiert. Mit anderen Worten wird jedes Gewicht 44 auf einer von lediglich zwei unterschiedlichen Ausprägungen abgebildet, in dem Beispiel entweder auf -1 oder auf 1. Somit weisen sämtliche Gewichte 44 nach Durchführung des siebten Arbeitsschritts 56 eine von zwei unterschiedlichen Ausprägungen auf. Sofern das neuronale Netz 14 ein Bestandteil eines übergeordneten neuronalen Netzes ist, das vollständig trainiert wird, ist es möglich, dass das übergeordnete neuronale Netz nicht-binäre Gewichte aufweist, die jedoch kein Bestandteil des neuronalen Netzes 14 sind.

[0055] In einem sich anschließenden achten Arbeitsschritt 58 werden die Gewichte 44 normalisiert. Hierfür werden diese mit einer Normierungskonstanten 60 multipliziert. Die Normierungskonstante 60 ist dabei das reziproke der euklidischen Norm des jeweiligen Gewichtsvektors 40. Da die Gewichte 44 entweder 1 oder -1 sind, entspricht die euklidische Norm der Anzahl der Gewichte 44 des jeweiligen Gewichtsvektors 40. Somit wird jedes der Gewichte 44 durch die Anzahl der Gewichte 44 des zugeordneten Gewichtsvektors 40 geteilt. Je nachdem, wie viele Ergebnisse 26 dem jeweiligen Neuron 22 zugeführt werden, also in Abhängigkeit der Verknüpfung des neuronalen Netzes 18, unterscheiden sich die Normierungskonstanten 60 unterschiedlicher Gewichtsvektoren 40.

[0056] In einem sich anschließenden neunten Arbeitsschritt 62 wird für jedes Neuron 22 mittels des jeweils zugeordneten Gewichtsvektors 40, der die normalisierten Gewichte 44 aufweist, die Übertragungsfunktion 42 erstellt. Hierfür wird jedem Neuron 22 jeweils der entsprechende Eingangsvektor 34 mit den binären Werten 36 zugeführt und das Skalarprodukt mit dem Gewichtsvektor 40 gebildet. Der Eingangsvektor 34, der für die erste Lage 24 verwendet wird, ist dabei anhand von Trainingsdaten bereitgestellt und weist lediglich binäre Werte auf.

[0057] Zudem wird basierend auf der jeweils erstellte Übertragungsfunktion 42 mit der Aktivierungsfunktion 48 bearbeitet, sodass das binäre Ergebnis 26 erstellt wird. Wenn die Übertragungsfunktion 42 positiv ist, wird als Ergebnis 26 der Wert 1 und ansonsten -1 herangezogen. Dies wird für sämtliche Neuronen 22 durchgeführt, sodass die Prognose 20 erstellt ist. Diese wird mit einer erwarteten Prognose verglichen, die mittels der Trainingsdaten bereitgestellt ist. In Abhängigkeit hiervon wird werden die Gewichte 44 verändert, und erneut der siebte bis neunte Arbeitsschritt 56-62 durchgeführt. Dies erfolgte so lange, bis die erstellte Prognose 20 mit

der erwarteten Prognose ausreichend genau übereinstimmt.

[0058] Wenn dies der Fall ist, wird ein zehnter Arbeitsschritt 64 durchgeführt. In diesem werden die Gewichte 44, die aufgrund der in dem achten Arbeitsschritt 58 letztmalig durchgeführten Normalisierung unterschiedliche Werte aufweisen können, binarisiert, also entweder auf -1 oder 1 gesetzt. Wenn dabei das jeweilige Gewicht 44 positiv ist, wird 1 und ansonsten -1 verwendet. Anschließend werden diese mit dem Vorzeichen der jeweiligen Normalisierungskonstanten 60 multipliziert. Da diese stets positiv ist, erfolgt somit eine Multiplikation mit 1. Nachfolgend ist weist jeder der Gewichtungsvektoren 40 nunmehr lediglich die binären Gewichte 44 auf, und das neuronale Netz 18 ist angelernet und kann für das Durchführen des Verfahrens 28 zum Betrieb des Hörgeräts 2 verwendet werden.

[0059] In einer nicht näher dargestellten Variante wird die Binarisierung der Gewichte 44 lediglich bei der letztmaligen Wiederholung des siebten Arbeitsschritts 56 durchgeführt oder erst mit dem zehnten Arbeitsschritt 64. In diesem Fall wird in dem siebten Arbeitsschritt 56 vorzugsweise der Wertebereich für die Gewichte 44 vorgegeben, sodass diese insbesondere lediglich zwischen -1 und 1 liegen können, wobei jedoch mehrere Ausprägungen möglich sind. Bei mehrmaligem Durchführen des siebten Arbeitsschritts 64 nähern sich dann die möglichen Ausprägungen immer mehr entweder -1 oder 1 an.

[0060] Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr können auch andere Varianten der Erfindung von dem Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Gegenstand der Erfindung zu verlassen. Insbesondere sind ferner alle im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel beschriebene Einzelmerkmale auch auf andere Weise miteinander kombinierbar, ohne den Gegenstand der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0061]

- 2 Hörgerät
- 4 Gehäuse
- 6 Mikrofon
- 8 Signalverarbeitungseinheit
- 10 Hörer
- 12 Bearbeitungseinheit
- 14 Audiosignal
- 16 Ausgangssignal
- 18 neuronales Netz
- 20 Prognose
- 22 Neuron
- 24 Lage
- 26 Ergebnis
- 28 Verfahren zum Betrieb des Hörgeräts
- 30 erster Arbeitsschritt
- 32 zweiter Arbeitsschritt

- 34 Eingangsvektor
- 36 binärer Wert
- 38 dritter Arbeitsschritt
- 40 Gewichtungsvektor
- 42 Übertragungsfunktion
- 44 binäres Gewicht
- 46 vierter Arbeitsschritt
- 48 Aktivierungsfunktion
- 50 fünfter Arbeitsschritt
- 52 Verfahren zum Trainieren des neuronalen Netzes
- 54 sechster Arbeitsschritt
- 56 siebter Arbeitsschritt
- 58 achter Arbeitsschritt
- 60 Normalisierungskonstante
- 62 neunter Arbeitsschritt
- 64 zehnter Arbeitsschritt

Patentansprüche

1. Verfahren (28) zum Betrieb eines Hörgeräts (2), das ein neuronales Netz (18) mit mehreren Neuronen (22) aufweist, denen jeweils ein Gewichtungsvektor (40) mit binären Gewichten (44) zugeordnet ist, wobei jedem Neuron (22) ein Eingangsvektor (34) mit binären Werten (36) zugeführt und mit dem Gewichtungsvektor (40) verarbeitet wird, um eine Übertragungsfunktion (42) zu erhalten, und wobei die Übertragungsfunktion (42) mit einer Aktivierungsfunktion (48) derart bearbeitet wird, dass ein binäres Ergebnis (26) bereitgestellt wird.
2. Verfahren (28) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Übertragungsfunktion (42) die Summe der Operation XNOR auf alle Werte (36) mit dem jeweils zugeordneten Gewicht (44) herangezogen wird.
3. Verfahren (28) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Aktivierungsfunktion (46) das Vorzeichen der Übertragungsfunktion (42) herangezogen wird.
4. Verfahren (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Eingangsvektor (34) anhand von erfassten Audiosignalen (18) erstellt wird, und/oder dass anhand der Ergebnisse (26) eine Prognose (20) für zukünftige Audiosignale erstellt wird.
5. Verfahren (52) zum Trainieren eines neuronalen Netzes (18) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei bei jedem Trainingsschritt
 - die Gewichte (44) binarisiert werden,
 - die Gewichte (44) normalisiert werden, wofür diese mit einer jeweiligen Normalisierungskonstanten (60) multipliziert werden, die reziprok proportional zur euklidischen Norm des jewei-

gen Gewichtungsvektors (44) ist,
 - für jedes Neuron (22) anhand des jeweiligen Gewichtungsvektors (44) die jeweilige Übertragungsfunktion (42) erstellt wird, und
 - die Übertragungsfunktion (48) mit der Aktivierungsfunktion (48) derart bearbeitet wird, dass das binäre Ergebnis (26) bereitgestellt wird.

6. Verfahren (52) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass zu Beginn die Gewichte (44) beliebig gewählt werden. 5
7. Verfahren (52) nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach dem Durchführen der Trainingsschritte die Gewichte (44) binarisiert und mit dem Vorzeichen der jeweiligen Normalisierungskonstanten (60) multipliziert werden. 10
8. Hörgerät (2), das ein neuronales Netz (18) mit mehreren Neuronen (22) aufweist, und das gemäß einem Verfahren (28, 52) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 betrieben ist. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

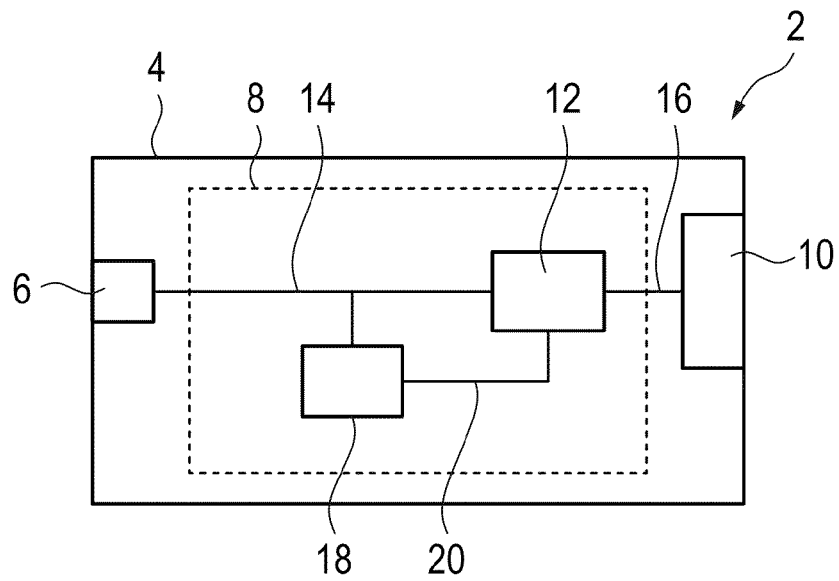


Fig. 1

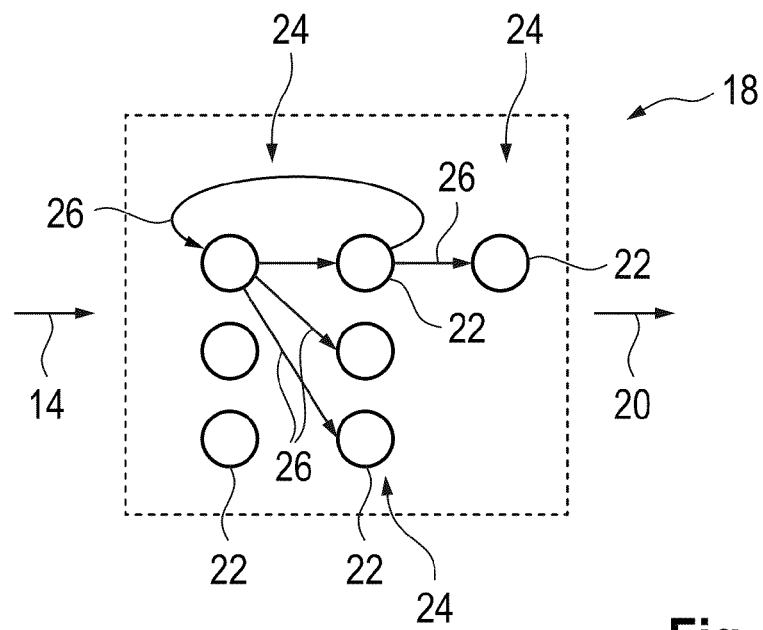


Fig. 2

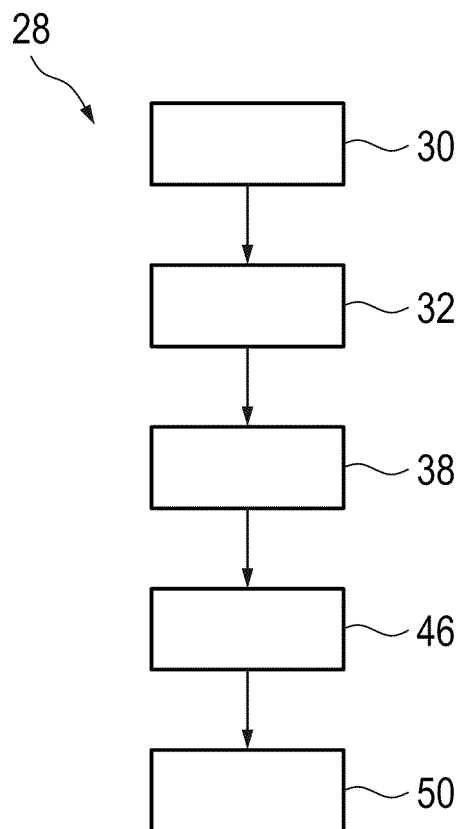


Fig. 3

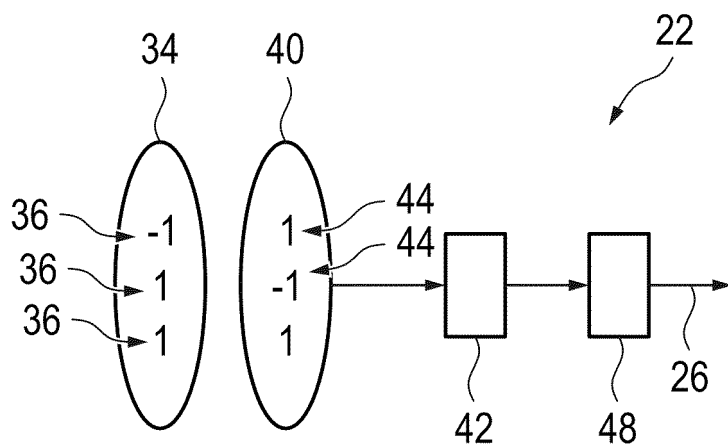


Fig. 4

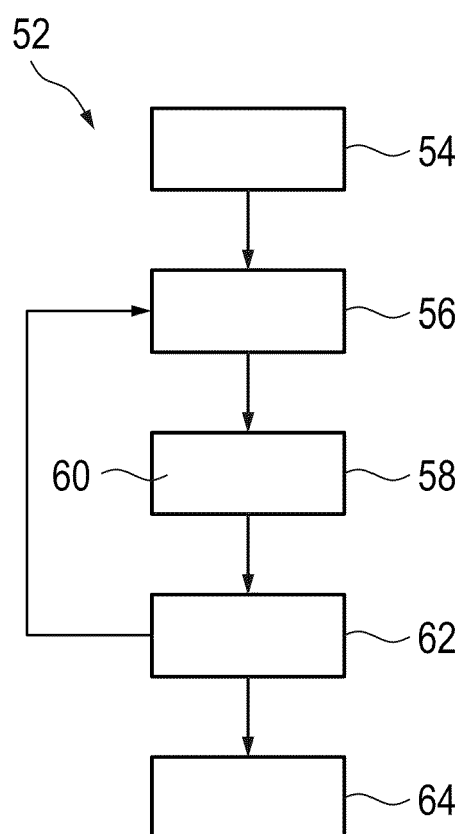


Fig. 5