



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 030 782 A1** 2006.01.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 030 782.2**

(22) Anmeldetag: **25.06.2004**

(43) Offenlegungstag: **19.01.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F02D 41/00** (2006.01)

F02D 41/02 (2006.01)

B60R 16/02 (2006.01)

G05B 13/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

FEV Motorentechnik GmbH, 52078 Aachen, DE

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Maxton Langmaack & Partner,
50968 Köln**

(72) Erfinder:

**Borrmann, Eric, 52062 Aachen, DE; Schernus,
Christof, 52385 Nideggen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 100 03 739 C2

DE 44 34 197 C2

DE 195 27 323 A1

DE 100 10 681 A1

**HAFNER, M.: Model Based Determination of
Dynamic**

**Engine Control Function Parameters, SAE Paper
01FL-319, 2001, Fig. 1, S. 3, 3. Abs.;;**

**ISERMANN, R., et. al.: Einsatz schneller neuronaler
Netze zur modellbasierten Optimierung von
Verbrennungsmotoren. In: MTZ 61, 2000,
10, S. 2-9;;**

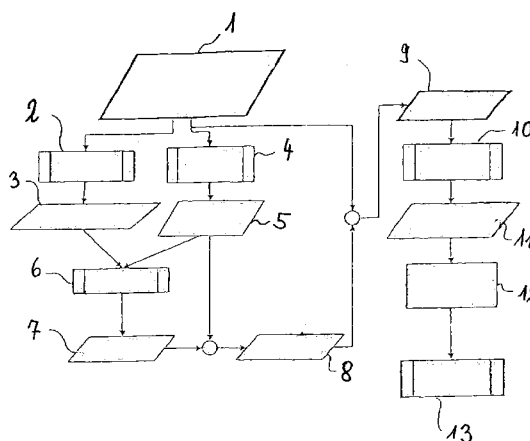
**ISERMANN, R.: Effiziente Motorapplikation mit
lokal linearen neuronalen Netzen. In: MTZ
5, 2003, 64, S. 406-413, Kap. 2.1, Kap.
2.3, Kap. 5, Kap. 6;;**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Fahrzeug-Steuergerät mit einem neuronalen Netz**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrzeug-Steuergerät mit einem neuronalen Netz, wobei ein oder mehrere Backpropagation-Netze mit einer oder mehreren Radial-Basis-Funktionen gekoppelt sind. Weiterhin wird ein Verfahren zur Erstellung von zumindest einem fahrzeugspezifischen Kennfeld zur Verfügung gestellt, wobei eine Mehrzahl an Eingangsdaten mittels eines neuronalen Netzes über eine oder mehrere Radial-Basis-Funktionen, die mit einem oder mehreren Backpropagation-Netzen gekoppelt sind, aufgearbeitet und zu einem Kennfeld verarbeitet werden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fahrzeug-Steuergerät mit einem oder mehreren neuronalen Netzen sowie ein Verfahren zur Erstellung von zumindest einem fahrzeugspezifischen Kennfeld.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, dass bei Fahrzeugen, insbesondere für Verbrennungskraftmaschinen, Parametermodelle zur Vorhersage von Betriebszuständen wie auch zur Regelung eingesetzt werden. So ist beispielsweise aus der WO 01/14704 A1 bekannt, ein Verfahren zur Validierung von Parametermodellen zugrunde liegender Größen vorzunehmen, wobei die Parametermodelle zur Ermittlung von Sollwerten für Betriebsparameter dienen sollen, die einen Betriebsmodus einer Verbrennungskraftmaschine charakterisieren. Aus der DE 100 10 681 A1 ist wiederum ein virtueller Drehmomentsensor auf Basis neuronaler Netze zur Implementierung in Kraftfahrzeugsteuergeräten bekannt. Hierbei wird auf eine Nachbildung mit einem Berechnungsmodell im Fahrzeugsteuergerät abgestellt, welches verschiedenartige neuronale Netze bzw. Fuzzysysteme aufweisen soll.

Aufgabenstellung

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Fahrzeug-Steuergerät vorzusehen, mit dem eine bestmögliche Ausnutzung einer Rechenleistung des Steuergerätes ermöglicht wird.

[0004] Diese Aufgabe wird mit einem Fahrzeug-Steuergerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie mit einem Verfahren zur Erstellung von zumindest einem fahrzeugspezifischen Kennfeld mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst. Weitere vorteilhafte Aufgaben und Weiterbildungen sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

[0005] Erfindungsgemäß ist ein Fahrzeug-Steuergerät mit einem neuronalen Netz vorgesehen, wobei ein oder mehrere Backpropagation-Netze mit einer oder mehreren Radial-Basis-Funktionen gekoppelt sind. Vorzugsweise sind eine oder mehrere Radial-Basis-Funktionen als Netze aufgebaut, die den Backpropagation-Netz oder -Netzen vorgelagert sind. Auf diese Weise gelingt es, dass die jeweiligen Vorteile von Backpropagation-Netzen mit Radial-Basis-Funktions-Modellen verknüpft werden können, um darüber ein Fahrzeug-Steuergerät mit der in der Regel beschränkten Rechnerkapazität optimal ausnutzen zu können.

[0006] Das Radial-Basis-Funktionen-Netz, im Folgenden RBF-Netz, wie auch das Backpropagation-Netz sind vorzugsweise als vorwärtsgerichtete

Netzwerke ausgebildet. Insbesondere wird hierbei wie auch bei anderen Konstellationen einer Kopplung beider Netze ausgenutzt, dass ein RBF-Netz beispielsweise nur eine verdeckte Schicht aufweist, jedoch auch mehrere Schichten aufweisen kann, während das Backpropagation-Netz beispielsweise ebenfalls nur eine verdeckte Schicht besitzt, gemäß einer Weiterbildung jedoch auch mehrere verdeckte Schichten besitzen kann. Eine Ausgestaltung sieht vor, das RBF-Netz mehrschichtig vorzusehen, während das Backpropagation-Netz vorzugsweise nur mit einer verdeckten Schicht gebildet wird. Vorzugsweise kann eine Ausgangsschicht des Backpropagation-Netzes linear wie auch nicht-linear gewählt werden. Dieses ist insbesondere vom Bedarf abhängig. Weiterhin können beim Backpropagation-Netz Computerknoten von den Neuronen her betrachtet in einer verdeckten Schicht und in einer Ausgabeschicht von gleicher Art sein. Im RBF-Netz ist ein Aufbau der Neuronen in der verdeckten Schicht anders als in der Ausgabeschicht. Weiterhin ist eine verdeckte Schicht im RBF-Netz nicht linear, während die Ausgabeschicht linear ist. Beim Backpropagation-Netz sind vorzugsweise beide Schichten, verdeckte Schicht und Ausgabeschicht, nicht linear. Ein weiterer Vorteil der Kopplung beider Netze ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Aktivierungsfunktion. Während ein Argument der Aktivierungsfunktionen im RBF-Netz der euklidische Abstand zwischen einem Eingabevektor und einem jeweiligen Zentrum ist, kann beim Backpropagation-Netz eine Aktivierungsfunktion vom inneren Produkt des Eingabevektors und des Gewichtungsvektors des jeweiligen Neurons abhängen. Ein weiterer, besonders vorteilhafter Punkt bei der Kombination von Backpropagation-Netzen mit RBF-Netzen ergibt sich dadurch, dass das Backpropagation-Netz dann geeignet ist, in Regionen eines Eingaberaumes eine Approximation vornehmen zu können, in dem wenig oder überhaupt keine Trainingsdaten vorliegen. Das RBF-Netz dagegen weist eine kürzere Trainingszeit auf und reagiert insbesondere weniger empfindlich auf eine Eingabereihenfolge der Trainingsdaten. Dadurch, dass das RBF-Netz für jede beliebige Implementierung einer nicht-linearen Transformation eines Eingaberaumes genutzt werden kann, lassen sich die vom RBF-Netz ermittelten Daten ohne Weiteres in das Backpropagation-Netz übertragen.

[0007] Aufgrund der Koppelung von Backpropagation-Netz mit RBF-Netz ist insbesondere eine zeitkritische und echtspeicherkritische Anwendung bei der Berechnung von Kennfelddaten ermöglicht. Das derart aufgebaute neuronale Netz approximiert einen Funktionswert in Abhängigkeit von einem oder mehreren Eingangswerten. Im Bereich der Fahrzeugtechnik handelt es sich bei den approximierten Funktionswerten beispielsweise um eine Systemantwort, das heißt eine Reaktion eines technischen Prozesses des Fahrzeuges auf bestimmte Einflussgrößen. Im

Bereich einer Verbrennungskraftmaschine kann dieses ein Luftmassenstrom als Reaktion auf einen Saugrohr-Druck, eine Motordrehzahl und/oder eine Drosselklappenstellung sein.

[0008] Ein günstiges Approximationsverhalten der Systemantwort durch das neuronale Netz wird erreicht, nachdem die Parameter des neuronalen Netzes für das System geeignet adaptiert worden sind. Dabei wird der Approximationsfehler des Netzes vorzugsweise mit einem nicht-linearen Optimierungsverfahren minimiert. Das Verfahren dieser Adaption soll im Folgenden als Training bezeichnet werden. Für das Training des neuronalen Netzes wird eine größere Anzahl von Eingangs- und zugehörigen Ausgangswerten des zu betrachtenden Prozesses benötigt. Oftmals stehen jedoch eine ausreichende Anzahl derartiger Datensätze messtechnisch nicht mit vertretbarem Aufwand zur Verfügung. Durch die Koppelung eines oder mehrerer RBF-Netze mit einem oder mehreren Backpropagation-Netzen wird jedoch ermöglicht, aus einer geringen Menge an Beobachtungswerten des zu untersuchenden Prozesses die Datenbasis für das Training des oder der neuronalen Netze zu ergänzen. Vorzugsweise wird dabei angenommen, dass die Daten aufgrund einer insgesamt glatten Systemantwort ermittelt werden können. In diesem Zusammenhang bedeutet das Wort "glatt", dass die Systemantwort zwischen Beobachtungspunkten wie auch außerhalb der Beobachtungspunkte keine bis wenige Wendestellen aufweist. Auf diese Weise kann sich der Vorteil eines RBF-Netzes, auf der Basis weniger Trainingsdaten glatte Systemantworten approximieren zu können, mit dem Vorteil des Backpropagation-Netzes verbinden, eine hohe Approximationsgüte zu schaffen.

[0009] Gemäß einer Ausgestaltung ist das neuronale Netz derart aufgebaut, dass bereits verfügbare Ein- und Ausgangsdaten als Lerndaten für das Training des Backpropagation-Netzes zwischen den bekannten Werten sowie begrenzt auch außerhalb von diesen durch virtuelle Lerndaten ergänzt wird. Die virtuelle Lerndaten werden über ein oder mehrere RBF-Netze ermittelt und dem Backpropagation-Netz übergeben. Auf diese Weise können dem Backpropagation-Netz allein über das RBF-Netz geschaffene Daten übergeben werden. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die vom RBF-Netz übergebenen Daten an das Backpropagation-Netz ergänzt werden durch die Originaldaten, die dem Backpropagation-Netz ebenfalls übergeben werden.

[0010] Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass durch eine Ergänzung durch virtuelle Lerndaten eine deutlich reduzierte Anzahl von Messdaten für ein Training der Backpropagation-Netze benötigt wird. Das Verfahren nutzt insbesondere die Fähigkeit von RBF-Netzen zur Approximation glatter Systemant-

worten, umgeht dabei aber deren hohe Anforderungen an Rechenleistung und Speicherplatz des Echtzeitsystems durch den Einsatz der Backpropagation-Netze.

[0011] Anhand eines Beispiels einer Sinus-Funktion im Wertebereich 0 bis 2π wird im Folgenden ein Einsparpotential einer Rechenleistung für eine zweistufige gekoppelte Anwendung von RBF-Netz und Backpropagation-Netz angegeben. Für ein erfolgreiches Training eines Backpropagation-Netzes mit drei Neuronen in einer verdeckten Schicht werden mindestens zwölf Abtastungen der Sinus-Funktion zuzüglich weiterer Validierungsdaten benötigt. Nach einer Regel, dass 50 % der verfügbaren Daten für das Training verwendet werden können, während der Rest für die Validierung verbleiben soll, bedeutet dieses einen Bedarf von 24 Wertepaaren. Damit erreicht das Backpropagation-Netz in diesem Anwendungsfall eine hervorragende Genauigkeit. Ein RBF-Netz erreicht mit sieben Abtastungen als Trainingsdaten ausreichende, mit zehn Abtastungen gute Genauigkeit, wobei wieder jeweils die Validierungsdaten hinzuzurechnen sind. Ein derartiges RBF-Netz kann nun benutzt werden, um zu den sieben bzw. zehn Basiswerten im Trainingsdatensatz Zwischenwerte in beliebiger Anzahl hinzuzufügen. Dieser erweiterte Trainingsdatensatz wird anschließend für die Adaption der Parameter des Backpropagation-Netzes verwendet. Abhängig von der Anzahl der Zwischenwerte und der Approximationsgüte des RBF-Netzes kann die Genauigkeit eines auf diese Weise trainierten Backpropagation-Netzes vergleichbar sein zu der eines Netzes, das mit einer wesentlich höheren Anzahl von reinen Messdaten trainiert worden ist.

[0012] Durch die Koppelung von RBF-Netzen mit Backpropagation-Netzen kann ein Umfang experimenteller Untersuchungen reduziert werden. Aufgrund der geringeren Anzahl notwendiger experimentell ermittelter Datensätze lassen sich Versuchseinsparungen wie auch Testeinsparungen ergeben. Darüber hinaus besteht ebenfalls die Möglichkeit, dass auf Basis schon vorhandener Messdaten zusätzliche Trainingsdaten generiert werden. Auf diese Weise kann die Approximationsgüte eines in einem Regelungsalgorithmus verwendeten Backpropagation-Netzes verbessert werden. Insbesondere kann das neuronale Netz für Echtzeitsysteme wie auch für Simulationen eingesetzt werden. Auch besteht die Möglichkeit, mit einem derartigen neuronalen Netz fahrzeugspezifische Kennfelder zu generieren, diese auf einem Datenträger zu speichern und beispielsweise bei einer Simulation zu nutzen oder in ein Fahrzeug-Steuergerät aufzuspielen. Auch kann ein derartiges Verfahren auf einem Datenträger gespeichert und in ein Fahrzeug-Steuergerät überspielt werden.

[0013] Bevorzugte Anwendungen des oben beschriebenen Verfahrens bzw. Fahrzeug-Steuergerä-

tes sind beispielsweise:

- a) Der Einsatz in einem Motorsteuergerät. Hierbei können Eingangs- wie auch als Ausgangssignale des Steuergerätes über ein oder mehrere neuronale Netze miteinander gekoppelt sein. Derartige Signale sind beispielsweise eine Motordrehzahl, eine Kurbelwellenposition, ein Drosselklappenwinkel, eine Fahrpedalposition, ein Luftmassenstrom, ein Saugrohrdruck, ein Restsauerstoff im Abgas (Lambda-Wert), eine Motortemperatur, eine Öltemperatur, ein Luftdruck, eine Lufttemperatur, eine Klopfneigung, eine Abgasrückführung, eine Ansaugluftaufladung, eine Tankentlüftung, ein Zündzeitpunkt, eine Einspritzmenge, ein Einspritzzeitpunkt, Ventilöffnungs- wie auch -schließzeiten, und andere mögliche Eingangs- wie Ausgangssignale. Diese Aufzählung ist nur beispielhaft ohne abschließend zu sein. Neben diesen Stell-, Steuer- und Regelgrößen können auch weitere Parameter dargestellt und adaptiert werden. Modellbasiert können dieses auch Systemeigenschaften wie Reibleistung, Wärmeverluste, Kraftstoffqualität und -verdampfungseigenschaften, Brennraumdichtigkeit oder anderes sein. Diese wie auch andere Werte können nicht nur im Motorsteuergerät, sondern auch über andere Steuergeräte ermittelt bzw. geregelt werden. Vorzugsweise ist das Motorsteuergerät mit einem oder mehreren Steuergeräten in Verbindung und weist einen Datenaustausch auf. Der Datenaustausch erfolgt aber vorzugsweise analog oder digital, beispielsweise über einen CAN-Bus, und/oder über eine MOST-Verbindung.
- b) Der Einsatz in einem fahrzeugspezifischen Steuergerät. Gemäß einer ersten Ausgestaltung weist ein Steuergerät für zumindest einen Ventiltrieb ein oben beschriebenes neuronales Netz auf. Gemäß einer zweiten Ausgestaltung weist ein Steuergerät, das auf eine Kraftstoffeinspritzung wirkt, ein derartiges neuronales Netz auf. Gemäß einer dritten Ausgestaltung weist ein Steuergerät ein derartiges neuronales Netz auf, welches auf ein Abgasverhalten eines Fahrzeuges wirkt. Gemäß einer vierten Ausgestaltung weist ein Steuergerät, das auf eine Sicherheitseinrichtung wirkt, ein derartiges oben beschriebenes neuronales Netz auf. Vorzugsweise wird mit dem Steuergerät die Sicherheitseinrichtung gesteuert, geregelt und/oder ausgelöst. Beispielsweise kann das Steuergerät eine Fahrzeuglage steuern. Dieses ist beispielsweise mittels eines ESP-Systems möglich. Weitere Sicherheitseinrichtungen können sein: Airbags, Lichtsteuerung, Bremsen, Reifenkontrolle, Ölversorgung, Abstandsregelungen zu anderen Fahrzeugen, Gierverhalten des Fahrzeuges, ABS-Systeme, Notsysteme, insbesondere Notlaufsysteme für Motoren, Brandschutzsysteme, Kühlsysteme oder Ähnliches.
- c) Der Einsatz in einem Simulator und/oder Testgerät. Hierbei kann es sich um ein stationäres

oder mobiles Gerät handeln. Eine Simulation erfolgt beispielsweise mit einem über Eingangsvorversuche gewonnenen, spezielle Fahrbereiche, Belastungen und/oder Anforderungsprofile charakterisierenden Datensatz. Durch die Bearbeitung des Datensatzes zuerst mit dem RBF-Netz erhöht sich die Datenmenge, vorzugsweise zumindest um den Faktor 3. Mit diesen Daten erzeugt das Backpropagation-Netz anschließend das Kennfeld. Dieses kann nachfolgend getestet und an dabei gemessenen Größen bewertet und verbessert werden.

[0014] Vorzugsweise wird ein Fahrzeug-Steuergerät mit dem oben beschriebenen neuronalen Netz zur Regelung von einem oder mehreren ein Fahrzeug betreffenden Parametern bzw. Einrichtungen genutzt. Auch kann das Fahrzeug-Steuergerät zur Steuerung hierfür eingesetzt werden.

[0015] Das einsetzbare neuronale Netz kann insbesondere mit anderen neuronalen Netzen bzw. Fuzzy-Modellen zusätzlich gekoppelt sein. Mögliche Kopplungen können beispielsweise mit neuronalen Modellstrukturen eingegangen werden, wie sie aus der DE 100 10 681 A1 hervorgehen. Im Rahmen dieser Offenbarung wird daher diesbezüglich vollumfänglich auf diese Druckschrift verwiesen.

[0016] Insbesondere bei der Verwendung des oben beschriebenen neuronalen Netzes ist es vorteilhaft, wenn beispielsweise mit bis zu zehn Neuronen bezüglich des RBF-Netzes gearbeitet wird. Exakte, das heißt interpolierende, RBF können jedoch auch erheblich mehr als zehn Neuronen benötigen, wenn jeder Messpunkt durch ein Neuron besetzt wird. Der numerische Aufwand der Berechnung liegt dann eventuell über dem von Backpropagation-Netzen. Approximierende RBF-Netze können dagegen mit weniger Neuronen ausgelegt werden und stellen gemäß einer Weiterbildung eine Alternative zu approximierenden Backpropagation-Netzen dar. Insbesondere besteht auch die Möglichkeit, dass im Rahmen einer Versuchsplanung ein Versuchsraum vorgesehen wird, der teilkorrelierte Daten und/oder nicht-orthogonale Räume vorsieht. Insbesondere ermöglicht das oben beschriebene neuronale Netz das Vorsehen von multilineareren Interpolaritäten, die eventuell nicht stetig differenzierbar in den Messpunkten sind. Gemäß einer Weiterbildung ist eine adaptive Komponentengestaltung durch Nutzung des neuronalen Netzes vorgesehen.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausbildung ist vorgesehen, dass ein Multilayer-Perceptrance-Netz mit Backpropagation-Learning (MLP) vorgesehen ist. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung ist vorgesehen, dass ein Backpropagation-through-time-Netz (BPTT) genutzt wird. Neben dem Einsatz eines ein- oder mehrschichtigen Feed-forward-Netzes können auch

ein oder mehrere rekursive neuronale Netze mit oder ohne Eigenrückkopplung ebenfalls vorgesehen werden. Insbesondere kann das neuronale Netz auch eine Gitternetz-Struktur aufweisen bei der eine ein-, zwei- oder mehr-dimensionale Anordnung von Neuronen mit einer dazugehörigen Menge von Knoten die Eingangssignale zu dieser Anordnung weiterreichen. Dieses kann insbesondere in Form von Self-Organizing Maps (SOM) erfolgen.

[0018] Gemäß eines weiteren Gedanken der Erfindung können anstelle von einer Backpropagation-Funktion und RBF auch andere approximierende bzw. interpolierende Verfahren eingesetzt werden, wie z.B. LOLIMOT, SOM, gegebenenfalls Spline-Interpolation. Letztere findet insbesondere dann Verwendung, wenn ein Eingangsraum eine begrenzte Multidimensionalität aufweist, so dass eine Rechenzeit in etwa vergleichbar ist zu der bei einem approximierenden neuronalen Netz.

[0019] Die vorliegende Erfindung betrifft somit ein Fahrzeug-Steuergerät mit einem neuronalen Netz, wobei ein oder mehrere Backpropagation-Netze mit einer oder mehreren Radial-Basis-Funktionen gekoppelt sind. Weiterhin wird ein Verfahren zur Erstellung von mindestens einem fahrzeugspezifischen Kennfeld zur Verfügung gestellt, wobei eine Mehrzahl von Eingangsdaten mittels eines neuronalen Netzes über eine oder mehrere Radial-Basis-Funktionen, die mit einem oder mehreren Backpropagation-Netzen gekoppelt sind, aufgearbeitet und zu einem Kennfeld verarbeitet werden.

Ausführungsbeispiel

[0020] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in der nachfolgenden Zeichnung näher erläutert. Die dort dargestellten Ausführungen sind jedoch nicht beschränkend auszulegen. Vielmehr sind die beschriebenen Merkmale allein oder in Zusammenstellung mit den oben beschriebenen Merkmalen zu weiteren Ausgestaltungen verknüpfbar. Es zeigen:

[0021] Fig. 1 ein Beispiel eines neuronalen Netzes,

[0022] Fig. 2 eine Parallelschaltung von Steuergeräten mit neuronalen Netzen, und

[0023] Fig. 3 eine Anwendung des neuronalen Netzes.

[0024] Fig. 1 zeigt ein Beispiel eines Aufbaus eines neuronalen Netzes, wie es vorzugsweise in einem Kraftfahrzeug-Steuergerät integriert vorliegt. Ursprungsdaten **1** werden vorzugsweise angegeben, können aber auch generiert werden. Diese können über Sensoren dem Steuergerät zugeführt werden. Ursprungsdaten **1** weisen insbesondere einen Da-

tensatz bestehend aus mehreren Messungen einer oder mehrerer Ausgangsgrößen eines Systems und der zugehörigen Eingangsgrößen auf. Dieses Systemverhalten soll später durch ein neuronales Backpropagation-Netz approximiert werden. In einem vordefinierten Prozess **2** wird zunächst anhand dieser Ursprungsdaten ein RBF-Netz trainiert. Die Parameter des RBF-Modells liegen anschließend als Datensatz **3** vor. Zugleich wird in einem parallel zu dem RBF-Training ablaufenden Prozess **4** der durch die Ursprungsdaten **1** beschriebene Eingangsraum auf ausreichende Abdeckung hinsichtlich der zur Anregung des später zu trainierenden Backpropagation Netzes geprüft, und zusätzliche virtuelle Eingangsdaten **5** werden bestimmt.

[0025] Diese virtuellen Eingangsdaten **5** werden unter Anwendung des Datensatzes **3** der RBF-Netzparameter im Prozess **6** benutzt, um einen virtuellen Systemausgang bzw. eine virtuelle Systemantwort **7** zu erzeugen. Diese virtuelle Systemantwort **7** zusammen mit den virtuellen Eingangsdaten **5** ergeben das virtuelle Systemverhalten **8**. Das virtuelle Systemverhalten **8** kombiniert mit den Ursprungsdaten **1** wiederum ergeben erweiterte Trainingsdaten **9**. Die erweiterten Trainingsdaten **9** werden zum Training des Backpropagation-Netzes **10** genutzt. Daraus ergibt sich ein Backpropagation-Netz-Modell **11** zur Berechnung der Systemantwort auf eine beliebige Kombination von Eingangsgrößen. Mit diesem Backpropagation-Netz-Modell **11** kann eine Steuergeräte-Implementierung **12** erfolgen. Über die Steuergeräte-Implementierung **12** erfolgt beispielsweise eine modellbasierte Regelung **13**, z.B. einer Verbrennungskraftmaschine. Auf diese wie auch auf andere Art und Weise ist somit ein RBF-Netz einem Backpropagation-Netz vorgeschaltet. Dadurch kann insbesondere ein multidimensionales Aufsuchen und Interpolieren von Kennfeldpunkten durch eine kontinuierliche mathematische Approximation, d.h. durch den Ausgang eines MLP ersetzt werden. Die für das Training des MLP erforderliche ausreichende Anregung kann durch Ergänzen des Ausgangs- und Eingangsraumes mittels der virtuellen Eingangsdaten und virtuellen Systemantwort erreicht werden.

[0026] Fig. 2 zeigt eine Ausgestaltung, bei der mehrere Steuergeräte **14**, **15**, **16** parallel zueinander über ein Bussystem **7** verschaltet sind. Diese Verschaltung erlaubt, dass ein neuronales Netz nicht nur auf ein Steuergerät **4**, sondern auf eine Mehrzahl von Steuergeräten **14**, **15**, **16** zurückgreifen und Rechenoperationen parallel ausführen kann. Auf diese Weise kann eine echtzeitbasierte Regelung unter Ausnutzung der vorhandenen Rechenkapazitäten eines Fahrzeuges verbessert werden. Hierbei können gleiche oder unterschiedliche, jedoch mit gleichartigen Komponenten ausgestaltete neuronale Netze miteinander gekoppelt sein.

[0027] Fig. 3 zeigt in schematischer Ansicht einen möglichen Einsatz eines Verfahrens zur Erstellung von zumindest einem fahrzeugspezifischen Kennfeld bzw. einen Einsatz eines Fahrzeug-Steuergerätes mit einem neuronalen Netz, wie auch einen Einsatz eines Datenträgers mit einem Programm zur Erstellung einer Simulation für ein Fahrzeug oder zum Aufspielen in ein Fahrzeug-Steuergerät. In einem Fahrzeug **18** sind ein Motorsteuergerät **19**, ein eine Fahrzeuglage überwachendes Steuergerät **20** und ein einen Fahrzeugabstand überwachendes Steuergerät **21** dargestellt. Mit dem den Abstand überwachenden Steuergerät **21** wird beispielsweise ein seitlicher Abstand zu benachbarten Fahrzeugen überwacht. Auch kann ein rückwärtiger oder vorwärtsgerichteter Abstand zu Fahrzeugen oder anderen Gegenständen darüber überwacht werden. Mit dem die Fahrzeuglage überwachenden Steuergerät **20** wird beispielsweise ein Antriebsstrang und/oder eine Gierwirkung und/oder ein Drehverhalten von Rädern **22** mitüberwacht und insbesondere geregelt. Das Motorsteuergerät **19** überwacht und regelt insbesondere eine Verbrennungskraftmaschine wie aber auch beispielsweise zugehörige Aggregate und Abgaskomponenten wie Filter oder Katalysator. Die Steuergeräte **20**, **21**, **22** sind vorzugsweise miteinander vernetzt und weisen jeweils zumindest ein neuronales Netz zumindest zur Überwachung, insbesondere aber zur Steuerung und/oder Regelung von Komponenten am Fahrzeug auf. Die für die jeweiligen Komponenten notwendigen Datensätze können beispielsweise mittels Versuch aufgenommen und über einen Computer **23** generiert zu Kennfeldern aufgearbeitet sein. Diese Kennfelder können beispielsweise auf einem Datenträger **24** hinterlegt werden. Der Datenträger **24** kann beispielsweise eine CD-Rom, eine DVD, eine Diskette, eine Festplatte oder ein anders geartetes Speichermedium sein, wie beispielsweise ein Speicher-Chip. Der Datenträger **24** wird vorzugsweise mit einem weiteren schematisch dargestellten Fahrzeug-Steuergerät **25** in Verbindung gebracht, wobei die auf dem Datenträger vorhandenen Daten wie auch ein oder mehrere Programme auf das Fahrzeug-Steuergerät **25** aufgespielt werden können. Auf diese Weise können neuartige neuronale Netze beispielsweise zur verbesserten Echtzeitberechnung insbesondere zur Regelung von Fahrzeugkomponenten auch schon vorhandenen Fahrzeug-Steuergeräten nachträglich eingebracht werden. Dieses geht natürlich auch durch Auswechseln eines entsprechenden Chipsatzes, der im Fahrzeug-Steuergerät untergebracht ist. Umgekehrt besteht wiederum ebenfalls die Möglichkeit, dass mit dem Fahrzeug **18** Testläufe durchgeführt werden, wobei über entsprechende Datenträger aufgenommene Daten über die Fahrzeug-Steuergeräte **19**, **20**, **21** gesammelt werden. Diese real gewonnenen Daten können über den Datenträger **24** gespeichert und über den Computer **23** weiter ausgewertet und mit zusätzlich virtuell gewonnenen Daten erweitert werden. Dieses kann

insbesondere nach dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren ausgeführt werden.

[0028] Gemäß einem weiteren Gedanken der Erfindung ergeben sich weitere Anwendungsmöglichkeiten überall dort, wo auf Grundlage weniger Varianten ein geschlossener Zusammenhang durch ein glattes "flaches" mathematisches Backpropagation-, insbesondere MLP-basiertes Modell dargestellt werden soll. Dabei kann das Verfahren der Kopplung von RBF und MLP gegebenenfalls auch losgelöst von der Implementierung in einem Steuergerät gesehen werden.

[0029] Beispiele hierfür sind in der Luftfahrtindustrie eine Steuerung und Regelung von Strahlantrieben, Fluglage und Klimatisierung, in der Verkehrstechnik eine Steuerung von Ampeln, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbieten, Dauerlichtzeichen zur Optimierung des Verkehrsflusses, in der Haus- und Klimatechnik beispielsweise eine adaptive Regelung von Hausheizungen, Brennern, solarthermischen Anlagen, in der metallverarbeitenden Industrie beispielsweise eine Überwachung von Qualitätsmerkmalen im Produktionsprozess, z.B. Regelung von Schweißstrom und -vorschub in der schweißtechnischen Verbindungstechnik und von Werkstoffeigenschaften von Legierungen, in der chemischen Industrie beispielsweise eine Optimierung von Rezepturen und eine Regelung von Mischungsabläufen und thermischen Zustandsgrößen in Reaktoren sowie von Materialflüssen bei veränderlichen Fließeigenschaften und in der Landwirtschaft beispielsweise eine Optimierung des Anbauergebnisses wie auch eine Regelung von Klimatisierung, Bewässerung und Düngung in Zuchtanlagen und Gewächshäusern.

Patentansprüche

1. Fahrzeug-Steuergerät mit einem neuronalen Netz, wobei ein oder mehrere Backpropagation-Netze mit einer oder mehreren Radial-Basis-Funktionen gekoppelt sind.

2. Fahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das neuronale Netz die Radial-Basis-Funktion zum Training des Backpropagation-Netzes aufweist.

3. Fahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Radial-Basis-Funktion direkt mit dem Backpropagation-Netz gekoppelt ist.

4. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Backpropagation-Netz zum Training einen Zugang von Daten ausschließlich von der Radial-Basis-Funktion aufweist.

5. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Backpropagation-Netz zum Training einen Zugang von Daten von der Radial-Basis-Funktion und von Eingangsdaten der Radial-Basis-Funktion aufweist.

6. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät ein Motorsteuergerät ist.

7. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät zumindest auf einen Ventiltrieb wirkt.

8. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät auf eine Kraftstoffeinspritzung wirkt.

9. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät auf ein Abgasverhalten wirkt.

10. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät eine Sicherheitseinrichtung steuert.

11. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät eine Fahrzeuglage steuert.

12. Fahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Steuergeräte miteinander zum Datenaustausch und zur Berechnung von Kennfelddaten für das Fahrzeug verbunden sind.

13. Fahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Steuergeräte parallel geschaltet sind.

14. Verfahren zur Erstellung von zumindest einem fahrzeugspezifischen Kennfeld, wobei eine Mehrzahl an Eingangsdaten mittels eines neuronalen Netzes über ein oder mehrere Radial-Basis-Funktionen, die mit einem oder mehreren Backpropagation-Netzen gekoppelt sind, aufgearbeitet und zu einem Kennfeld verarbeitet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Radial-Basis-Funktion Daten aufbearbeitet und zum Training an das Backpropagation-Netz weiterreicht.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine Simulation von Bedingungen für ein Fahrzeug durch Berechnung mit-

tels des neuronalen Netzes erfolgt.

17. Datenträger mit einem Programm zur Erstellung einer Simulation für ein Fahrzeug mit den Merkmalen des Anspruches 14 oder zum Aufspielen in ein Fahrzeug-Steuergerät, insbesondere mit den Merkmalen des Anspruches 1.

18. Anwendung eines neuronalen Netzes mit den Merkmalen des Anspruches 14 zur Simulation von Daten für ein Fahrzeug oder zum Training von Daten für ein Fahrzeug-Steuergerät mit den Merkmalen des Anspruches 1.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

