



(10) **AT 514969 A2 2015-05-15**

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50361/2014
 (22) Anmeldetag: 21.05.2014
 (43) Veröffentlicht am: 15.05.2015
 (51) Int. Cl.: **G07C 5/08** (2006.01)
G06Q 90/00 (2006.01)

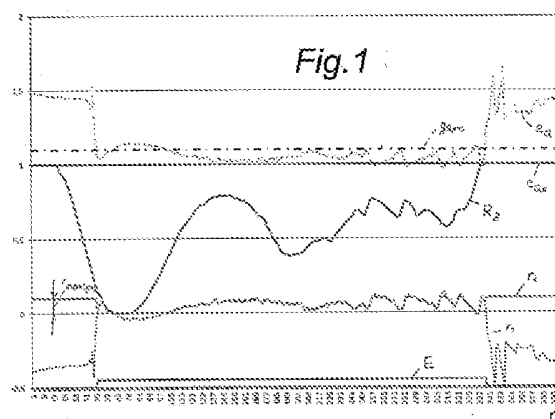
(30) Priorität:
 23.10.2013 AT A50686/2013 beansprucht.

(71) Patentanmelder:
 AVL LIST GMBH
 8020 GRAZ (AT)
 (72) Erfinder:
 Cerna Ralf
 8324 Kirchberg an der Raab (AT)
 Krauhs Valentin
 4400 Steyr (AT)
 Schauer Johannes Dr.
 8010 Graz (AT)
 Neubauer Gerhard
 8522 Groß St. Florian (AT)

(74) Vertreter:
 BABELUK Michael
 1150 WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR BEURTEILUNG DER ROBUSTHEIT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beurteilung der Robustheit zumindest einer Diagnosefunktion, insbesondere zur On-Board-Diagnostik bei einem Fahrzeug, wobei für zumindest eine charakteristische Größe der Diagnosefunktion zumindest ein Merkmalswert (e_Q) ermittelt wird. Um eine objektive Aussage über die Beurteilung der Robustheit einer Diagnosefunktion zu ermöglichen, wird zumindest ein Fehlerschwellenwert (g_{Qpos} , g_{Qneg}) für zumindest einen vorzugsweise empirisch ermittelten Merkmalswert (e_Q) der Diagnosefunktion festgelegt, ein Abstand (r_i) des ermittelten Merkmalswertes (e_Q) vom Fehlerschwellenwert (g_{Qpos} , g_{Qneg}) bestimmt, und zumindest eine Robustheitskennzahl (R_Z , R_D) auf der Basis des Abstandes (r_i) berechnet.



ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beurteilung der Robustheit zumindest einer Diagnosefunktion, insbesondere zur On-Board-Diagnostik bei einem Fahrzeug, wobei für zumindest eine charakteristische Größe der Diagnosefunktion zumindest ein Merkmalswert (e_Q) ermittelt wird. Um eine objektive Aussage über die Beurteilung der Robustheit einer Diagnosefunktion zu ermöglichen, wird zumindest ein Fehlerschwellenwert (g_{Qpos}, g_{Qneg}) für zumindest einen vorzugsweise empirisch ermittelten Merkmalswert (e_Q) der Diagnosefunktion festgelegt, ein Abstand (r_i) des ermittelten Merkmalswertes (e_Q) vom Fehlerschwellenwert (g_{Qpos}, g_{Qneg}) bestimmt, und zumindest eine Robustheitskennzahl (R_Z, R_D) auf der Basis des Abstandes (r_i) berechnet.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beurteilung der Robustheit zumindest einer Diagnosefunktion, insbesondere zur Durchführung einer On-Board-Diagnostik bei einem Fahrzeug, wobei für zumindest eine charakteristische Größe der Diagnosefunktion zumindest ein Merkmalswert ermittelt wird.

Die Software im Motorsteuergerät eines Fahrzeuges beinhaltet neben Funktionen zur Steuerung und Regelung innermotorischer Prozesse auch zahlreiche Diagnosefunktionen zur Überwachung verschiedener Systeme und Komponenten. Ein wichtiges Ziel der On-Board-Diagnostik eines Fahrzeuges ist es, Störungen, welche zu abnormalem Verhalten der Brennkraftmaschine führen, möglichst frühzeitig zu erkennen und auf die kleinste austauschbare Einheit zurückzuführen. Da aber die Anzahl der Sensoren aus Kostengründen minimal gehalten wird, werden modellbasierte Fehlererkennungs- und Diagnoseverfahren eingesetzt, um dieses Ziel zu erreichen. Modellbasierte Fehlererkennungsverfahren nutzen die Abhängigkeiten verschiedener messbarer Signale eines Prozesses mit Hilfe mathematischer Modelle aus, um Informationen über den Prozesszustand zu gewinnen. Der Gesamtprozess modellbasierter On-Board-Diagnostik (OBD) setzt sich aus einer gewissen Anzahl Aktuatoren, dem eigentlichen physikalischen Prozess und aus verschiedenen Sensoren zusammen. Basierend auf Eingangssignalen und Ausgangssignalen werden im Modell charakteristische Größen bzw. Merkmale berechnet, welche Aufschluss über den Prozesszustand geben.

Ein häufig eingesetztes Verfahren bei Diagnosefunktionen im automobilen Bereich ist die Fehlererkennung mittels Paritätsgleichungen. Bei diesen bilden Modelle mit im Voraus bekannter Struktur und Parameter das Prozessverhalten ab. Diese Modelle werden parallel zu den modellierten Prozessen angeordnet. Dabei wird ein gemessenes Signal eines Prozesses mit einem modellierten Referenzwert mittels Subtraktion oder Quotientenbildung verglichen. Dieses Merkmal wird als Residuum e_R bezeichnet und wird genau dann Null bzw. im Quotientenfall Eins, wenn das Referenzmodell den Prozess exakt abbildet. Umgekehrt betrachtet, wenn von einer exakten Modellierung ausgegangen wird, kann mithilfe des Residuums auf eine Abweichung des Messsignals und somit auf einen Fehler geschlossen werden. Es wird also das erzeugte Merkmal auf Abweichungen vom Erwartungswert überwacht. Dadurch können Veränderungen des Prozesses aufgespürt und Störungen vom Normalzustand unterschieden werden.

Als Robustheit wird die Unempfindlichkeit gegen kleine Abweichungen von den Annahmen bezeichnet. Angewandt auf die OBD ist damit die Fähigkeit gemeint, zufällige Schwankungen der überwachten Merkmalswerte zu tolerieren und von signifikanten, fehlerrelevanten Abweichungen zu unterscheiden. Zufällige Abweichungen sind auf die stochastische Variation der Eingangsgrößen in die Diagnosefunktion zurückzuführen und können als Ursachen Umweltbedingungen, Fahrverhalten, Alterung, Toleranzen in Produktionsprozessen und Messungenauigkeiten haben.

Zusätzlich zu stochastisch variierenden Eingangsgrößen führen auch Ungenauigkeiten der Referenzmodelle in Diagnosefunktionen zu Streuungen der überwachten Merkmalswerte. Diese unbeherrschbaren Streuungen sind Gründe für die Forderung nach Robustheit, um das Risiko von Fehldiagnosen zu minimieren. Eine Fehldiagnose ist einerseits die fälschliche Annahme eines Fehlers, obwohl dieser nicht existiert (Fehler 1. Art). Andererseits ist das Nicht-Erkennen eines existierenden Fehlers ebenfalls eine Fehldiagnose (Fehler 2. Art).

Für die Absicherung der Zuverlässigkeit einer On-Board Diagnose eines Fahrzeuges ist die Kenntnis der Robustheit von großer Bedeutung. In der vorliegenden Patentanmeldung werden Verfahren zur Beurteilung der Robustheit von Diagnosefunktionen zur Vermeidung von Fehldiagnosen 1. Art beschrieben.

Viele Diagnosefunktionen verwenden zur Robustheitssteigerung Entprellverfahren, um kurze zufällige Überschreitungen eines Schwellwertes von tatsächlichen Fehlfunktionen zu unterscheiden. Eine sehr häufig genutzte Art der Entprellung ist dabei das Kriterium, dass eine Fehlerschwelle kontinuierlich für eine gewisse Zeit überschritten sein muss. Ein bekanntes Verfahren zur Beurteilung der Robustheit einer Diagnosefunktion basiert auf der Analyse der maximalen Dauer der kontinuierlichen Überschreitung eines definierten Schwellenwertes innerhalb einer Messung. Dabei wurden die absoluten Häufigkeiten von Zeitspannen mit Fehlerentprellung, also Zeitspannen, in denen die Werte eines überwachten Merkmals durchgehend über einem definierten Schwellenwert lagen, analysiert. Allerdings können mit dieser Methode wichtige Informationen über die Robustheit, insbesondere Informationen zu jenen Teilen der empirischen Messwerte, in denen keine Schwellenwertüberschreitung vorliegen, nicht gewonnen werden.

Ein anderes beliebtes Kriterium ist, dass ein Zählerstand einen definierten Wert erreichen muss, wobei der Zähler bei Überschreitung des Schwellwertes inkrementiert und bei Unterschreitung des Schwellwertes dekrementiert wird. Ein gängiges Verfahren zur Robustheitsanalyse dieser Umsetzung ist die Betrachtung der Verteilung der höchsten bzw. niedrigsten aufgetretenen Zählerstände des Entprellzählers.

Eine weitere in der Motorsteuergerätesoftware häufig eingesetzte Methode zur Robustheitssteigerung einer Überwachungsfunktion ist es, dass ein Zähler inkrementiert wird, sobald der Merkmalswert einen Schwellenwert überschreitet. Wenn sich der Wert des überwachten Merkmals wieder normalisiert, wird die Zählervariable um einen gewissen Betrag pro Zeiteinheit dekrementiert. Durch diese Form der Fehlerentprellung können speziell Fehler, die in kurzen Zeitintervallen auftreten, schneller erkannt werden. Ein bekanntes Verfahren zur Beurteilung der Robustheit solcher Diagnosefunktionen basiert auf der Analyse der des maximal aufgetretenen Entprellzählerstandes innerhalb einer Messung. Allerdings können mit dieser Methode wichtige Informationen über die Robustheit, insbesondere Informationen zu jenen Teilen der empirischen Messwerte, in denen keine Schwellenwertüberschreitung vorliegt, nicht gewonnen werden.

Des Weiteren ist aus der US 7,743,351 B2 ein Verfahren zur Überprüfung der Robustheit eines Modells eines physikalischen Systems bekannt, wobei ein erstes Modell des physikalischen Systems mit einem ersten Komponentensatz und zumindest einer Eingabeschnittstelle definiert wird, wobei das erste Modell eine formale Sprache definiert, welche das Verhalten und die Funktion jeder der Komponenten beschreibt. In der formalen Sprache werden die Eigenschaften beschrieben, welche durch das Modell des physikalischen Systems erfüllt werden müssen. In der formalen Sprache wird ein zweites Modell beschrieben, welches mit dem ersten Modell korrespondiert und zusätzlich einen Fehler-Eintragsmechanismus aufweist. Unter Verwendung von formalen Beweismitteln wird automatisch nach einer Kombination von eingetragenen Fehlern und/oder eingegebenen Werten gesucht, welche die bestimmte Eigenschaft zum Versagen bringt. Dieser Ansatz ist allerdings recht aufwendig und bietet keine Möglichkeit, die Robustheit verschiedener Modelle miteinander objektiv zu vergleichen.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile der bekannten Verfahren zu vermeiden und ein Verfahren vorzuschlagen, welches eine objektive Aussage über die Beurteilung der Robustheit einer Diagnosefunktion ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass zumindest ein Fehlerschwellenwert für zumindest einen vorzugsweise empirisch ermittelten Merkmalswert der Diagnosefunktion festgelegt wird, dass ein Abstand des ermittelten Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert bestimmt wird, und dass zumindest eine Robustheitskennzahl auf der Basis des Abstandes berechnet wird, wobei vorzugsweise der Abstand auf Basis eines durch die Differenz oder dem Quotienten zwischen dem gemessenen Merkmalswert und dem Fehlerschwellenwert berechneten Rohabstandes ermittelt wird.

Durch die Erarbeitung von Robustheitskennzahlen, welche sich aus empirischen Messdaten ergeben, ist es möglich, kritische Bereiche zu identifizieren. Die Robustheit der Diagnosefunktion kann auf Grund der Robustheitskennzahl bewertet werden, wobei eine Robustheitskennzahl mit dem Wert Eins für maximale Robustheit und eine Robustheitskennzahl mit dem Wert Null für minimale Robustheit bzw. eine eingetretene Fehlererkennung steht.

Mit der Robustheitskennzahl können nicht nur Aussagen über das Auftreten von Schwellenwertüberschreitungen, sondern auch Aussagen über jene Teile der empirischen Messwerte getroffen werden, in welchen keine Schwellenwertüberschreitung vorliegt oder in denen die Freigabezeit der Diagnose kleiner als die Mindestzeit zur Fehlererkennung war. Die Robustheitskennzahl erlaubt somit auch eine quantitative Bewertung der Robustheit.

Folgende Fälle werden unterschieden: Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung und Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung. Als positive Fehlerschwellenwertüberschreitungen werden dabei Fälle verstanden, bei denen die Merkmalswerte größer als der ermittelte positive Schwellenwert sind. Als negative Fehlerschwellenwertüberschreitungen werden dabei Fälle verstanden, bei denen die Merkmalswerte kleiner als der ermittelte negative Schwellenwert sind.

- 1) Robustheitsbewertung einer entprellten Diagnosefunktion mit Rücksetzen des Entprellzählers:

Eine in der Motorsteuergerätesoftware häufig eingesetzte Methode zur Robustheitssteigerung einer Überwachungsfunktion ist es, dass ein Zähler inkrementiert wird, sobald der Merkmalswert einen Fehlerschwellenwert überschreitet. Wenn sich der Wert des überwachten Merkmals wieder normalisiert, wird die Zählervariable wieder zurückgesetzt.

Es wird eine Robustheitskennzahl R_z für eine Datenreihe n gebildet. Die Robustheitskennzahl R_z wird dabei auf der Basis einer Summe aller in einer Reihe auftretenden Abstände berechnet.

Dabei wird zwischen der Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung und der Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung unterschieden. Als Überwachung gegen positive Fehlerschwellenwertüberschreitungen wird dabei eine Überwachung hinsichtlich Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwerts, als Überwachung gegen negative Fehlerschwellenwertüberschreitungen eine Überwachung hinsichtlich Überschreitung des negativen Fehlerschwellenwert verstanden.

Ein positiver maximaler Abstandwert kann als Differenz zwischen einem positiven Fehlerschwellenwert und einem definierten Normalwert festgelegt werden. Der Abstand kann dem positiven maximalen Abstandswert gleichgesetzt werden, wenn - bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes durch den Merkmalswert - der Rohabstand größer als der positive maximale Abstandswert ist. Der Abstand kann gleich Null gesetzt werden, wenn bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes durch den Merkmalswert - der Rohabstand kleiner als Null ist.

Analog dazu wird ein negativer maximaler Abstandwert als Differenz zwischen einem definierten Normalwert einem negativen Fehlerschwellenwert festgelegt. Der Abstand kann dem negativen maximalen Abstandswert gleichgesetzt werden, wenn - bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes durch den Merkmalswert - der Rohabstand größer als der negative maximale Abstandswert ist. Der Abstand kann gleich Null gesetzt werden, wenn bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes durch den Merkmalswert - der Rohabstand größer als Null ist.

Die Robustheitskennzahl R_Z errechnet sich folgendermaßen: Aus dem diskret abgetasteten Merkmalswert e_Q eines überwachten Merkmals an der Stelle n wird die Differenz zum entsprechenden Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} berechnet, welche hier als Rohabstand r_0 bezeichnet ist. Dieser Rohabstand r_0 wird vorteilhaft nach unten mit 0 nach oben mit r_{max_pos} bzw. r_{max_neg} begrenzt, wodurch sich die Werte r_i ergeben. Der Abstand r_{max_pos} bzw. r_{max_neg} von einem definierten Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} berechnet sich aus der Differenz zwischen dem Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} und dem Normalwert e_{Q0} , welcher im Idealfall auftritt. Bei Diagnosefunktionen mit variablen Fehlerschwellenwerten ist g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} von n abhängig.

Die Robustheitskennzahl R_Z ist nun die Summe der Werte r_i zwischen der aktuell betrachteten Messreihenposition n und dem Ende der Entprellzeit $n+N_0$, mit der Entprellzeit N_0 und wird mit der maximalen Fläche standardisiert, welche sich aus dem Produkt von Maximalabstand r_{max} und der Entprellzeit N_0 ergibt. Der Wert r_i entspricht dabei der mit dem Maximalabstand r_{max} und 0 limitierten Differenz zwischen dem aktuellen Fehlerwert e_Q und dem Schwellwert g_q .

Überdies ist die Robustheitskennzahl R_Z nur definiert, wenn die Einschaltbedingungen (Freigabebedingung) der Diagnosefunktion für den gesamten Bereich zwischen n und $n+N_0$ erfüllt sind.

Alternativ möglich und vorteilhaft ist es, wenn der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Schwellenwert gleich dem maximalen Abstandswert gesetzt wird, wenn die Freigabebedingungen für eine Diagnose nicht erfüllt sind. Somit wird R_Z auch in Bereichen außerhalb der Einschaltbedingungen definiert und weist in diesen Bereichen den Wert 1 auf. Es erfolgt ein stetiger Übergang in Bereiche, in denen die Diagnose freigegeben ist.

1.1) Robustheitskennzahl R_Z für Überwachung gegen positive Fehlerschwellenwertüberschreitung:

Die Robustheitskennzahl R_Z für Überwachung gegen positive Fehlerschwellenwertüberschreitung ergibt sich in einer einfachen Ausführungsvariante der Erfindung wie folgt:

$$R_Z[n] = \frac{1}{r_{\max_pos} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N_0} r_i$$

mit

$$r_i = \begin{cases} r_0[i] & \dots & 0 \leq r_0[i] \leq r_{\max} \\ 0 & \dots & r_0[i] < 0 \\ r_{\max_pos} & \dots & r_0[i] > r_{\max_pos} \end{cases}$$

$$r_{0pos}[i] = g_{Qpos}[i] - e_Q[i]$$

$$r_{\max_pos}[i] = g_{Qpos}[i] - e_{Q0}$$

wobei

N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt
n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes e_Q vom positiven Fehlerschwellenwert g_{Qpos}
$r_0[i]$	...	der Rohabstand des Merkmalswertes vom positiven Schwellenwert g_{Qpos}
$g_{Qpos}[i]$		positiver Schwellenwert
e_{Q0}		Normalwert
$e_Q[i]$		Abweichung zum Normalwert
$r_{\max_pos}[i]$	...	der größte positive Abstandswert bei Überwachung gegen positive Abweichung
$R_Z[n]$	...	Robustheitskennzahl

ist.

1.2) Robustheitskennzahl R_Z für Überwachung gegen negative Fehlerschwellenwertüberschreitung:

Analog zur Überwachung gegen positive Fehlerschwellenwertüberschreitung erfolgt die Definition bei einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung.

Dabei gilt in einer einfachen Ausführungsvariante der Erfindung:

$$R_z[n] = \frac{1}{r_{\max_neg} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N_0} r_i$$

mit

$$r_i = \begin{cases} r_0[i] & \dots & r_{\min} \leq r_0[i] \leq 0 \\ 0 & \dots & r_0[i] > 0 \\ r_{\max_neg} & \dots & r_0[i] < r_{\min_neg} \end{cases}$$

$$r_{0neg}[i] = e_Q[i] - g_{Qneg}[i]$$

$$r_{\max_neg}[i] = e_{Q0} - g_{Qneg}[i]$$

wobei

N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt
n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes $e_0[i]$ vom Fehlerschwellenwert g_{Qneg} ,
$r_0[i]$	...	der Rohabstand des Merkmalswertes vom Schwellenwert g_{Qneg}
$g_{Qneg}[i]$		negativer Schwellenwert
e_{Q0}		Normalwert
$e_Q[i]$		Abweichung zum Normalwert
$r_{\max_neg}[i]$	...	der größte negativen Abstandswert bei Überwachung gegen negative Abweichung ist.
$R_z[n]$	...	Robustheitskennzahl

ist.

2) Robustheitsbewertung einer entprellten Diagnosefunktion mit Dekrementieren des Entprellzählers:

Eine weitere in der Motorsteuergerätesoftware einsetzbare Methode zur Robustheitssteigerung einer Überwachungsfunktion ist es, dass ein Zähler um einen festgesetzten Wert inkrementiert wird, sobald der Merkmalswert einen

Fehlerschwellenwert überschreitet und um einen festgesetzten Wert dekrementiert sobald der Merkmalswert einen Fehlerschwellenwert unterschreitet.

Eine Robustheitskennzahl R_D für diese Art der Fehlerentprellung errechnet sich analog zur Robustheitskennzahl R_Z , mit dem Unterschied, dass die Anzahl der Datenpunkte bis zum Ablauf der Entprellzeit N_0 durch eine Zählerstandvariable N^* ersetzt wird. Dabei wird im Gegensatz zu R_Z die Zählerstandvariable N^* um einen gewissen Betrag pro Messpunkt bzw. Zeiteinheit dekrementiert solange sich diese innerhalb des Intervalls von 0 bis N_0 befindet. Speziell Fehler, die in kurzen Zeitintervallen auftreten, können mit dieser Form der Fehlerentprellung schneller erkannt werden.

Für das erste Element der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten wird die Zählerstandvariable $N^*[0]$ gleich der Anzahl N_0 der Datenpunkte der Datenreihe gesetzt, die die Mindestzeit zur Fehlererkennung darstellt. Die Zählerstandvariable $N^*[n]$ wird gegenüber $N^*[n-1]$ um den Betrag x dekrementiert, wenn der Rohabstand $r_0[n]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten bei einer Überwachung gegen positive Abweichung den positiven Fehlerschwellenwert überschreitet bzw. bei einer Überwachung gegen negative Abweichung den negativen Fehlerschwellenwert unterschreitet, solange $N^*[n-1] > 0$ ist. Andernfalls wird $N^* = 0$ gesetzt. Wenn der Rohabstand $r_0[n]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten bei einer Überwachung gegen positive Abweichung den positiven Fehlerschwellenwert unterschreitet bzw. bei einer Überwachung gegen negative Abweichung den negativen Fehlerschwellenwert überschreitet, wird die Zählerstandsvariable $N^*[n]$ um den Betrag y inkrementiert solange $N^*[n-1] < N_0$ ist. Andernfalls wird $N^* = N_0$ gesetzt.

Überdies ist die Robustheitskennzahl R_D nur definiert, wenn die Einschaltbedingungen (Freigabe) der Diagnosefunktion für den gesamten Bereich zwischen n und $n+N^*$ erfüllt sind.

Alternativ möglich und vorteilhaft ist es, wenn der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert gleich dem maximalen Abstandswert gesetzt wird, wenn die Freigabebedingungen für eine Diagnose nicht erfüllt sind. Somit wird R_D auch in Bereichen außerhalb der

Einschaltbedingungen definiert und weist in diesen Bereichen den Wert 1 auf. Es erfolgt ein stetiger Übergang in Bereiche, in denen die Diagnose freigegeben ist.

2.1) Robustheitskennzahl R_D für Überwachung gegen positive Fehlerschwellenwertüberschreitung:

$$R_D[n] = \frac{1}{r_{\max_pos} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N^*[n]} r_i$$

mit

$$r_i = \begin{cases} r_0[i] & \dots & 0 \leq r_0[i] \leq r_{\max} \\ 0 & \dots & r_0[i] < 0 \\ r_{\max_pos} & \dots & r_0[i] > r_{\max_pos} \end{cases}$$

$$N^*[0] = N_0$$

$$N^*[n] = \begin{cases} N^*[n-1] - x & \dots & r_0[n] < 0 \ \& \ N^*[n-1] > 0 \\ N^*[n-1] & \dots & r_0[n] < 0 \ \& \ N^*[n-1] = 0 \\ N^*[n-1] + y & \dots & r_0[n] \geq 0 \ \& \ N^*[n-1] < N_0 \\ N^*[n-1] & \dots & r_0[n] \geq 0 \ \& \ N^*[n-1] = N_0 \end{cases}$$

wobei

N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt
N^*	...	Zählerstandvariable
n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten, Zählerstand
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes e_Q vom Fehlerschwellenwert g_{Qneg}
$r_0[i]$	...	der Rohabstand des Merkmalswertes vom Schwellenwert g_Q
$R_D[i]$	...	Robustheitskennzahl
$r_{\max_pos}$	...	der maximale Abstandswert bei Überwachung gegen positive Abweichung

ist.

2.2) Robustheitskennzahl R_D für Überwachung gegen negative Fehlerschwellenwertüberschreitung:

$$R_D[n] = \frac{1}{r_{\max_neg} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N^*[n]} r_i$$

mit

$$r_i = \begin{cases} r_0[i] & \dots & r_{\min} \leq r_0[i] \leq 0 \\ 0 & \dots & r_0[i] > 0 \\ r_{\max_neg} & \dots & r_0[i] < r_{\max_neg} \end{cases}$$

$$N^*[0] = N_0$$

$$N^*[n] = \begin{cases} N^*[n-1] - x & \dots & r_0[n] < 0 \ \& \ N^*[n-1] > 0 \\ N^*[n-1] & \dots & r_0[n] < 0 \ \& \ N^*[n-1] = 0 \\ N^*[n-1] + y & \dots & r_0[n] \geq 0 \ \& \ N^*[n-1] < N_0 \\ N^*[n-1] & \dots & r_0[n] \geq 0 \ \& \ N^*[n-1] = N_0 \end{cases}$$

wobei

N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt
N^*	...	Zählerstandvariable
n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten, Zählerstand
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes e_Q vom Fehlerschwellenwert g_{Qneg} ,
$r_0[i]$	...	der Rohabstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qneg}
$R_D[n]$	...	Robustheitskennzahl
$r_{\max_neg}$	...	der maximale Abstandswert bei Überwachung gegen negative Abweichung

ist.

Die Erfindung wird im Folgenden an Hand der Fig. näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 die Berechnung der Robustheitskennzahl R_Z für den Fall einer Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung,

Fig. 2 zeigt die Berechnung der Robustheitskennzahl R_Z für den Fall einer Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung ohne Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung,

Fig. 3 die Berechnung der Robustheitskennzahl R_Z für den Fall einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung,

Fig. 4 zeigt die Berechnung von der Robustheitskennzahl R_Z für den Fall einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung ohne Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung,

Fig. 5 die Berechnung der Robustheitskennzahl R_D für den Fall einer Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung und

Fig. 6 zeigt die Berechnung der Robustheitskennzahl R_D für den Fall einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung.

In den Fig. ist jeweils der Normalwert e_{Q0} , die Abweichung e_Q zum Normalwert e_{Q0} , der Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} , der Rohabstand r_0 des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} , der auf der Basis des Rohabstandes r_0 bestimmte Abstand r_i des Merkmalwertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} , die Robustheitskennzahlen R_Z bzw. R_D über den Elementen n der Datenreihe dargestellt.

Fig. 1 zeigt eine Ausführung bei der auf der Basis des Rohabstandes r_0 bestimmte Abstand r_i des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qpos} gleich dem maximalen Abstandswert r_{max_pos} gesetzt wird, wenn die Freigabebedingungen E für eine Diagnose nicht erfüllt sind. Somit wird R_Z auch in Bereichen außerhalb der Einschaltbedingungen definiert und weist in diesen

Bereichen den Wert 1 auf. Es erfolgt ein stetiger Übergang in Bereiche, in denen die Diagnose freigegeben ist. In Fig. 2 dagegen ist die Robustheitskennzahl R_Z außerhalb des Freigabebereiches E nicht definiert.

Bei einem Normalwert des überwachten Merkmals von $e_{Q0} = 1$ und einem positiven Fehlerschwellenwert von $g_{Qpos} = 1.1$ ergibt sich in Fig. 1 der maximale Abstand $r_{max_pos} = 0.1$. Die maximale Dauer der Fehlerentprellung für eine vollständige Fehlererkennung N_0 wurde mit 30 Messschritten angenommen. Für die Berechnung der Robustheitskennzahl $R_Z[n]$ an der Stelle $n = 50$ beispielsweise, wird die Fläche von $i = 50$ bis $i = 80$ herangezogen. Die Normierung ergibt sich durch Division mit der maximal möglichen Fläche $r_{max_pos} \cdot N_0$. Werte für den Rohabstand r_0 größer als r_{max_pos} und kleiner als 0 werden mit diesen Werten begrenzt. Dies wird für jedes Element n durchgeführt – immer mit der Bedingung, dass die Einschaltbedingungen $E=1$ für den gesamten Bereich n bis $n+N_0$ erfüllt sind. In dem Bereich mit $E=0$ sind die Einschaltbedingungen E nicht erfüllt.

Wird die Robustheitskennzahl R_Z null, so bedeutet dies, dass der Merkmalswert e_Q der Diagnosefunktion mindestens für die maximale Dauer der Fehlerentprellung (N_0) über dem Fehlerschwellenwert g_{Qpos} liegt. Ist dies der Fall, wird ein endgültiger Fehler erkannt. Eine Robustheitskennzahl $R_Z = 1$ bedeutet maximale Robustheit. Dies ist der Fall, wenn der Abstand r_i des überwachten Merkmalswertes für die gesamten im Bereich N_0 betrachteten Punkte größer oder gleich $r_{max_pos}[i]$ ist.

Fig. 3 und Fig. 4 zeigen analog zu den Fig. 1 und Fig. 2 Berechnungen der Robustheitskennzahlen R_Z für den Fall einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung.

Fig. 3 zeigt eine Ausführung bei der der auf der Basis des Rohabstandes Rohabstandes r_0 bestimmte Abstand r_i des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qneg} gleich dem maximalen Abstandswert r_{max_neg} gesetzt wird, wenn die Freigabebedingungen E für eine Diagnose nicht erfüllt sind. Somit wird R_Z auch in Bereichen außerhalb der Einschaltbedingungen definiert und weist in diesen Bereichen den Wert 1 auf. Es erfolgt ein stetiger Übergang in Bereiche, in denen die Diagnose freigegeben ist. In Fig. 4 dagegen ist die Robustheitskennzahl R_Z außerhalb des Freigabebereiches E nicht definiert.

Bei einem Normalwert des überwachten Merkmals von $e_{Q0} = 1$ und einem negativen Fehlerschwellenwert von $g_{Qneg} = 0.9$ ergibt sich der maximale Abstand $r_{max_neg} = 0.1$. Die maximale Dauer der Fehlerentprellung für eine vollständige Fehlererkennung N_0 wurde wieder mit 30 Messschritten angenommen. Für die Berechnung der Robustheitskennzahl $R_z[n]$ an der Stelle $n = 50$ beispielsweise, wird die Fläche von $i = 50$ bis $i = 80$ herangezogen. Die Normierung ergibt sich durch Division mit der maximal möglichen Fläche $r_{max_neg} \cdot N_0$. Werte für den Rohabstand r_0 größer als r_{max_neg} und kleiner als 0 werden mit diesen Werten begrenzt. Dies wird für jedes Element n durchgeführt – immer mit der Bedingung, dass die Einschaltbedingungen $E=1$ für den gesamten Bereich n bis $n+N_0$ erfüllt sind. In dem Bereich mit $E=0$ sind die Einschaltbedingungen (Freigabebedingungen) E nicht erfüllt.

Wird die Robustheitskennzahl R_z null, so bedeutet dies, dass der Merkmalswert e_Q der Diagnosefunktion mindestens für die maximale Dauer der Fehlerentprellung (N_0) unter dem Schwellenwert g_{Qneg} liegt. Ist dies der Fall, wird ein endgültiger Fehler erkannt. Eine Robustheitskennzahl $R_z = 1$ bedeutet maximale Robustheit. Dies ist der Fall, wenn der Abstand r_i des überwachten Merkmalswerts für die gesamten im Bereich N_0 betrachteten Punkte größer oder gleich $r_{max_neg}[i]$ ist.

Fig. 5 zeigt die Berechnung von der Robustheitskennzahl R_D für den Fall einer Überwachung gegen eine positive Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung.

Bei einem Normalwert des überwachten Merkmals von $e_{Q0} = 1$ und einem positiven Fehlerschwellenwert von $g_{Qpos} = 1.1$ ergibt sich der maximale Abstand $r_{max_pos} = 0.1$. N_0 wurde mit 30 Messschritten, Inkrement x und Dekrement y mit Eins angenommen. Der sich daraus ergebende Verlauf von N^* ist dargestellt. Die Normierung ergibt sich durch Division mit der maximal möglichen Fläche $r_{max_pos} \cdot N^*$.

Wird die Robustheitskennzahl R_D null, so bedeutet dies, dass der Merkmalswert e_Q der Diagnosefunktion so lange den Schwellenwert überschritten hat, so dass der N^* Null wird. Ist dies der Fall, so wird ein endgültiger Fehler erkannt. Eine Robustheitskennzahl $R_D = 1$ bedeutet maximale Robustheit. Dies ist der Fall, wenn der Abstand r_i des überwachten Merkmalswerts für die gesamten im Bereich N^* betrachteten Punkte größer oder gleich $r_{max_pos}[i]$ ist.

Fig. 6 zeigt die Berechnung von der Robustheitskennzahl R_D für den Fall einer Überwachung gegen eine negative Fehlerschwellenwertüberschreitung mit Definition der Robustheitskennzahl außerhalb der Einschaltbedingung E.

Bei einem Normalwert des überwachten Merkmals von $e_{Q0} = 1$ und einem negativen Fehlerschwellenwert von $g_{Qneg} = 0.9$ ergibt sich der maximale Abstand $r_{max_neg} = 0.1$. N_0 wurde mit 30 Messschritten, Inkrement x und Dekrement y mit Eins angenommen. Der sich daraus ergebende Verlauf von N^* ist dargestellt. Die Normierung ergibt sich durch Division mit der maximal möglichen Fläche $r_{max_neg} \cdot N^*$.

Wird die Robustheitskennzahl R_D null, so bedeutet dies, dass der Merkmalswert e_Q der Diagnosefunktion so lange den Schwellenwert überschritten hat, so dass der N^* Null wird. Ist dies der Fall, so wird ein endgültiger Fehler erkannt. Eine Robustheitskennzahl $R_D = 1$ bedeutet maximale Robustheit. Dies ist der Fall, wenn der Abstand r_i des überwachten Merkmalswertes für die gesamten im Bereich N^* betrachteten Punkte größer oder gleich $r_{max_neg}[i]$ ist.

Bei den in Fig. 5 und 6 gezeigten Ausführungen wird der auf der Basis des Rohabstandes r_0 bestimmte Abstand r_i des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert g_{Qpos} bzw. g_{Qneg} gleich dem maximalen Abstandswert r_{max_pos} bzw. r_{max_neg} gesetzt, wenn die Freigabebedingungen E für eine Diagnose nicht erfüllt sind. Somit wird R_D auch in Bereichen außerhalb der Einschaltbedingungen E definiert und weist in diesen Bereichen den Wert 1 auf. Es erfolgt ein stetiger Übergang in Bereiche, in denen die Diagnose freigegeben ist.

Durch die Verwendung von Robustheitskennzahlen ist es möglich, die Zuverlässigkeit von Diagnosefunktionen automatisiert zu optimieren und vor Fehlereintritt oder Anspringen der Entprellfunktion zu quantifizieren. Diese Robustheitskennzahlen R_Z bzw. R_D können bei folgenden Problemstellungen angewendet werden:

- Zur Optimierung von Labels, wie Einschaltbedingungen, Dauer der vollständigen Fehlerentprellung, usw.: Mittels statistischer Versuchsplanung lassen sich verschiedene Einflussparameter unter Berücksichtigung vorgegebener Robustheitskennzahlen im Rahmen der Applikation von Diagnosefunktionen optimieren.

- Zur Identifikation und gezielten Untersuchung von kritischen Betriebsbedingungen und Fahrmanövern. Diese lassen sich in Messungen einfach durch niedrige Werte der Robustheitskennzahl finden.
- Auf Basis statistischer Versuchsplanung (DoE) und Offline-Optimierung bzw. einer HIL (Hardware in the Loop)-/MIL (Model in the Loop)- Koppelung kann der Trade-off zwischen Robustheit und Betriebsleistung (IUPR - In Use Performance Ratio) mithilfe der errechneten Robustheitskennzahlen optimiert werden, indem beispielsweise eine Robustheit unter Einhaltung des gesetzlichen IUPR und der Lauffähigkeit der Diagnose im Demozyklus maximiert wird. Die Diagnose-Fehlerschwellenwerte sind meist aufgrund der gesetzlich geforderten Empfindlichkeit der OBD (On Board Diagnostic) für fehlerhafte Systeme vorgegeben. Verstellparameter zur Optimierung von Robustheit und IUPR sind daher in der Regel Freigabebedingungen E und Entprellzeiten.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Beurteilung der Robustheit zumindest einer Diagnosefunktion, insbesondere zur On-Board-Diagnostik bei einem Fahrzeug, wobei für zumindest eine charakteristische Größe der Diagnosefunktion zumindest ein Merkmalswert (e_Q) ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Fehlerschwellenwert (g_{Qpos} , g_{Qneg}) für zumindest einen vorzugsweise empirisch ermittelten Merkmalswert (e_Q) der Diagnosefunktion festgelegt wird, dass ein Abstand (r_i) des ermittelten Merkmalswertes (e_Q) vom Fehlerschwellenwert (g_{Qpos} , g_{Qneg}) bestimmt wird, und dass zumindest eine Robustheitskennzahl (R_Z , R_D) auf der Basis des Abstandes (r_i) berechnet wird, wobei vorzugsweise der Abstand (r_i) auf Basis eines durch die Differenz oder dem Quotienten zwischen dem gemessenen Merkmalswert (e_Q) und dem Fehlerschwellenwert (g_{Qpos} , g_{Qneg}) berechneten Rohabstandes ($r_0[i]$) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Robustheitskennzahl (R_Z , R_D) auf der Basis einer Summe aller in einer Reihe auftretenden Abstände (r_i) berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein positiver maximaler Abstandswert (r_{max_pos}) als Differenz zwischen einem positiven Fehlerschwellenwert (g_{Qpos}) und einem definierten Normalwert (e_{Q0}) festgelegt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (r_i) dem positiven maximalen Abstandswert (r_{max_pos}) gleichgesetzt wird, wenn - bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes (g_{Qpos}) durch den Merkmalswert (e_Q) - der Rohabstand ($r_0[i]$) größer als der positive maximale Abstandswert (r_{max_pos}) ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (r_i) gleich Null gesetzt wird, wenn bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes (g_{Qpos}) durch den Merkmalswert (e_Q) - der Rohabstand ($r_0[i]$) kleiner als Null ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass - bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes (g_{Qpos}) durch den Merkmalswert (e_Q) - die Robustheitskennzahl R_Z nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$R_Z[n] = \frac{1}{r_{\max_pos} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N_0} r_i$$

wobei

- | | | |
|-----------------|-----|--|
| n | ... | ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten e_{Qr} |
| N_0 | ... | die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt, |
| r_i | ... | der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert, |
| $r_{\max_pos}$ | ... | der maximale Abstand zwischen einem positiven Fehlerschwellenwert (g_{Qpos}) und einem definierten Normalwert (e_{Q0}) |

ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass - bei Überschreitung des positiven Fehlerschwellenwertes (g_{Qpos}) durch den Merkmalswert (e_Q) - die Robustheitskennzahl R_D nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$R_D[n] = \frac{1}{r_{\max_pos} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N^*[n]} r_i$$

wobei

- | | | |
|-----------------|-----|--|
| n | ... | ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten e_Q , Zählerstand |
| N_0 | ... | die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt, |
| $N^*[n]$ | ... | Variable der Datenpunkte der Datenreihe |
| r_i | ... | der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert, |
| $r_{\max_pos}$ | ... | der maximale Abstand zwischen einem positiven Fehlerschwellenwert (g_{Qpos}) und einem definierten Normalwert (e_{Q0}) |

ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein negativer maximaler Abstandwert ($r_{\max_neg}$) als Differenz zwischen einem definierten Normalwert (E_{Q0}) einem negativen Fehlerschwellenwert (g_{Qneg}) festgelegt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (r_i) dem negativen maximalen Abstandwert ($r_{\max_neg}$) gleichgesetzt wird, wenn - bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes (g_{Qneg}) durch den Merkmalswert (e_Q) - der Rohabstand ($r_0[i]$) größer als der negative maximale Abstandwert ($r_{\max_neg}$) ist.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (r_i) gleich Null gesetzt wird, wenn bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes (g_{Qneg}) durch den Merkmalswert (e_Q) - der Rohabstand ($r_0[i]$) größer als Null ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass - bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes (g_{Qneg}) durch den Merkmalswert (e_Q) - die Robustheitskennzahl R_Z nach folgender Gleichung berechnet wird:

$$R_Z[n] = \frac{1}{r_{\max_neg} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N_0} r_i$$

wobei

n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten e_Q , Zählerstand
N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt,
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert,
$r_{\max_neg}$	...	der maximale Abstand zwischen einem definierten Normalwert (e_{Q0}) und einem negativen Fehlerschwellenwert (g_{Qneg})

ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass - bei Unterschreitung des negativen Fehlerschwellenwertes (g_{Qneg}) durch den Merkmalswert (e_Q) - die Robustheitskennzahl R_D nach folgender

Gleichung berechnet wird:

$$R_D[n] = \frac{1}{r_{\max_neg} \cdot N_0} \sum_{i=n}^{n+N^*[n]} r_i$$

wobei

n	...	ein Element einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten e_Q , Zählerstand
N_0	...	die Anzahl der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt,
$N^*[n]$	...	Zählerstandvariable
r_i	...	der auf der Basis des Rohabstandes bestimmte Abstand des Merkmalswertes vom Fehlerschwellenwert,
$r_{\max_neg}$	...	der maximale Abstand zwischen einem definierten Normalwert (e_{Q0}) und einem negativen Fehlerschwellenwert (g_{Qneg})

ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ für zumindest das erste Element ($n=1$) einer Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_0) gleich der Anzahl (N_0) der Datenpunkte der Datenreihe, die die Mindestzeit (Entprellzeit) zur Fehlererkennung darstellt, gesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ für alle Elemente (n) der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_0) gleich der Anzahl (N_0) der Datenpunkte der Datenreihe gesetzt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ der Datenpunkte der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) um den Betrag Eins dekrementiert wird, wenn der Rohabstand $r_0[i]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) negativ wird, solange $N^*[n-1] > 0$ ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ der Datenpunkte der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) um den Betrag Eins

inkrementiert wird, wenn der Rohabstand $r_0[i]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) größer als Null wird, solange $N^*[n-1]$ kleiner als die Anzahl (N_0) der Datenpunkte der Datenreihe ist, die die Mindestzeit zur Fehlererkennung darstellt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ der Datenpunkte der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) beibehalten wird, wenn der Rohabstand $r_0[i]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) negativ wird, solange $N^*[n-1]=0$ ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählerstandvariable $N^*[n]$ der Datenpunkte der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) beibehalten wird, wenn der Rohabstand $r_0[i]$ des ersten Elementes der Datenreihe von aufeinanderfolgenden Merkmalswerten (e_Q) größer als Null wird, solange $N^*[n-1]=N_0$ ist

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Zählervariable (i) wieder zurückgesetzt wird, wenn sich der Merkmalswert (e_Q) des überwachten Merkmals wieder normalisiert.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Robustheit der Diagnosefunktion auf Grund der Robustheitskennzahl (R_Z, R_D) bewertet wird, wobei eine Robustheitskennzahl (R_Z, R_D) mit dem Wert Eins für maximale Robustheit und eine Robustheitskennzahl (R_Z, R_D) mit dem Wert Null für minimale Robustheit bzw. eine eingetretene Fehlererkennung steht.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Basis der Robustheitskennzahl (R_Z, R_D) die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehldiagnosen berechnet wird.

2014 05 21

Fu

