

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ :

G05B 13/02

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/09573

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

28. März 1996 (28.03.96)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE95/01223

(22) Internationales Anmeldedatum: 7. September 1995 (07.09.95)

(30) Prioritätsdaten:

P 44 33 332.3

19. September 1994 (19.09.94) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PREUSS, Hans-Peter
[DE/DE]; Otto-Wels-Strasse 47, D-76189 Karlsruhe (DE).(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,
CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

Veröffentlicht

Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

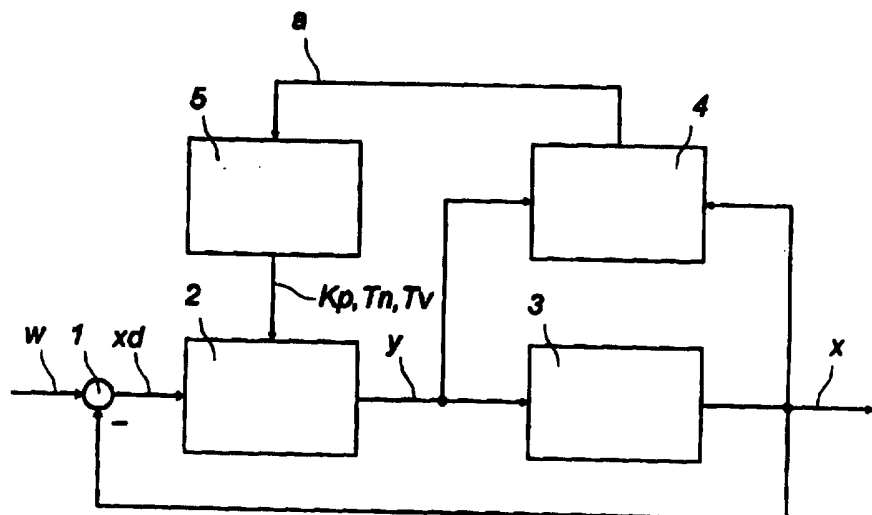
(54) Title: ARRANGEMENT FOR THE ADAPTIVE CONTROL OF A SECTION

(54) Bezeichnung: EINRICHTUNG ZUR ADAPTIVEN REGELUNG EINER STRECKE

(57) Abstract

The invention concerns an arrangement for the adaptive control of a section (3) with a signal pre-processing system (4) by means of which sampled values (a) can be generated from the time characteristic of the controlled variable (x), and with a neural network (5) which calculates the parameters (Kp, Tn, Tv) of the controller (2) in dependence on the sampled values (a). The neural network (5) is trained with reference to learned data of the parameters (Kp, Tn, Tv) and sampled values (a) of the section step response, which have been generated by analytically calculated parameter adjusting rules

or control circuit simulation and numerical optimization for one or a plurality of section models. The neural network (5) thus supplies the learned data with optimum control parameters which are well-suited to intermediate values owing to its generalization properties. The invention is used in automation technology.



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur adaptiven Regelung einer Strecke (3) mit einer Signalvorverarbeitung (4), mit der aus dem zeitlichen Verlauf der Regelgröße (x) Abtastwerte (a) erzeugbar sind, und mit einem neuronalen Netz (5), das in Abhängigkeit von den Abtastwerten (a) die Parameter (Kp, Tn, Tv) des Reglers (2) berechnet. Das neuronale Netz (5) ist anhand von Lerndaten der Parameter (Kp, Tn, Tv) und der Abtastwerte (a) der Streckensprungantwort trainiert, die durch analytisch berechnete Parameter-Einstellregeln oder durch Regelkreissimulation und numerische Optimierung für ein oder mehrere Streckenmodelle generiert wurden. Damit liefert das neuronale Netz (5) an den gelernten Daten optimale und aufgrund seiner Generalisierungseigenschaften an Zwischenwerten gut geeignete Reglerparameter. Die Erfindung wird angewandt in der Automatisierungstechnik.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

Beschreibung

Einrichtung zur adaptiven Regelung einer Strecke

- 5 Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur adaptiven Regelung einer Strecke nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine derartige Anordnung ist bereits aus dem Aufsatz "Robuste
Adaption in Prozeßreglern" von Hans-Peter Preuß, veröffentlicht
10 in der Zeitschrift "Automatisierungstechnische Praxis" 33 (1991),
Seiten 178 bis 187, bekannt. Ein Regelkreis besteht dort aus
einem Vergleichler, der aus einem Vergleich einer an der Strecke
gemessenen Regelgröße mit einer Führungsgröße eine Regeldifferenz
bildet, und einem Regler, der in
15 Abhängigkeit von der Regeldifferenz eine Stellgröße für die
Strecke bestimmt. Grundlage der PID-Reglerparametrierung ist
eine Sprungantwort der Regelstrecke, von der in angemessenem
Zeitabstand Abtastwerte gewonnen und abgespeichert werden.
Der gemessene Verlauf wird durch einen speziellen Modell-
20 ansatz, ein PT_n -Modell, approximiert, um ein darauf zuge-
schnittenes Reglereinstellverfahren, das Betragsoptimum, an-
wenden zu können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung
25 zur adaptiven Regelung einer Strecke zu schaffen, bei der auf
ein Modell der Strecke verzichtet werden kann und die dennoch
ein gutes Regelverhalten gewährleistet.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist die neue Einrichtung das im
30 kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannte Merkmal auf. In
den Unteransprüchen sind vorteilhafte Weiterbildungen ange-
geben.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß es mit dem neuronalen Netz
35 möglich ist, direkt aus den diskreten Abtastwerten der
Sprungantwort der Strecke als Eingangsgrößen gut geeignete
Parameter, beispielsweise eines PID-Reglers, als Ausgangs-

größen zu berechnen. Dabei kann das neuronale Netz auf einer vergleichsweise einfachen Hardware implementiert werden, da seine Anwendung lediglich das Anlegen der als Eingangsgrößen dienenden Abtastwerte der Streckensprungantwort und die einmalige Durchrechnung des neuronalen Netzes erfordert. Aufgrund seiner Generalisierungseigenschaften liefert das Netz zu einer weitgehend beliebigen Sprungantwort sofort geeignete Parameter des Reglers.

- 10 Anhand der Figuren, in denen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, werden im folgenden die Erfindung sowie Ausgestaltungen und Vorteile näher erläutert.

Es zeigen:

- 15 Figur 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur adaptiven Regelung und
Figur 2 eine Prinzipdarstellung einer Signalvorverarbeitung und eines neuronalen Netzes.

- 20 Ein adaptiver Regelkreis besteht nach Figur 1 aus einem Vergleichler 1, einem Regler 2, einer Strecke 3, einer Signalvorverarbeitung 4 und einem neuronalen Netz 5. In dem Vergleichler 1 wird eine an der Regelstrecke 3 gemessene Regelgröße x mit einer Führungsgröße w verglichen und so eine Regeldifferenz x_d gebildet. Der Regler 2, der als PID-Regler ausgeführt ist und seine Parameter K_p , T_n und T_v von dem neuronalen Netz erhält, bestimmt aus der Regeldifferenz x_d eine Stellgröße y , die auf die Strecke 3 wirkt. Der Verlauf der Regelgröße x und der Stellgröße y wird in der Signalvorverarbeitung 4 abgetastet und gespeichert. Aufgrund der durch die Signalvorverarbeitung 4 gewonnenen Abtastwerte a wird durch das neuronale Netz 5 eine für die Strecke 3 geeignete Belegung der Parameter K_p , T_n und T_v des PID-Reglers 2 berechnet. Vorteilhaft wird für die Erzeugung der Abtastwerte a in der Signalvorverarbeitung 4 der Strecke 3 durch den Regler 2 ein Stellgrößenprung aufgeschaltet.
- 35

Prinzipiell ist aber jeder beliebige Zeitverlauf der Stellgröße y als Anregung der Strecke 3 möglich, der zu einem für das Streckenverhalten charakteristischen Verlauf der Regelgröße x führt. Wenn eine Berechnung der Reglerparameter durch das neuronale Netz 5 für verschiedene Verläufe der Stellgröße y möglich sein soll, müssen neben Abtastwerten des Verlaufs der Regelgröße x auch Abtastwerte der Stellgröße y durch die Signalvorverarbeitung 4 dem neuronalen Netz 5 zugeführt werden. Da aber nicht für jeden Verlauf der Stellgröße y eine sinnvolle Berechnung der Reglerparameter möglich ist, beispielsweise im stationären Zustand der Regelung, wird in diesem Fall ein Kriterium benötigt, mit dessen Hilfe in Abhängigkeit vom Stellgrößenverlauf die Parameterberechnung freigegeben wird.

Die Abtastzeit ist in der Signalvorverarbeitung 4 fest eingestellt. Wenn sie dagegen variabel gehalten werden soll, wird sie für die Reglerparameterberechnung benötigt und muß als weitere Eingangsgröße auf das neuronale Netz 5 gegeben werden.

In Figur 2 ist das Adaptionsprinzip anschaulich dargestellt. An einem Eingang eines neuronalen Netzes 6 liegt ein Signal PI/PID an, das zur Auswahl des Reglertyps dient. Weitere Eingangssignale sind die in einer Signalvorverarbeitung gewonnenen diskreten Abtastwerte der Regelgröße x , die aus dem Verlauf der Sprungantwort, die in einem Zeitdiagramm dargestellt ist, gewonnen werden. Mit diesen Eingangsgrößen berechnet das neuronale Netz 6 dem gewählten Reglertyp entsprechend direkt die Parameter K_p , T_n und T_v .

Mehrdimensionale, nichtlineare Zusammenhänge können, wie beispielsweise aus der WO 94/06095 bekannt ist, durch künstliche neuronale Netze modelliert werden. Solche mehrdimensionalen, nichtlinearen Zusammenhänge, deren Kenntnis die Lösung des Reglerentwurfsproblems darstellt, bestehen auch zwischen den Abtastwerten der Streckensprungantwort und den optimalen

Reglerparametern eines zugehörigen PID-Reglers. Allerdings lassen sich diese Zusammenhänge nur in sehr speziellen Fällen in analytischer Form angeben. Die Einstellregeln des Betrags-optimums sind ein solcher Spezialfall. Es liefert für PT_n -
5 Strecken als Einstellvorschrift für die Parameter K_p , T_n und T_v eines PID-Reglers rationale Funktionen mit den Kennwerten Verstärkung K , Zeitkonstante T und Ordnung n der Strecke, die in dem eingangs genannten Aufsatz angegeben sind. In allgemeiner Schreibweise lauten sie:

10

$$\begin{aligned}K_p &= f_1(n, K, T), \\T_n &= f_2(n, T) \text{ und} \\T_v &= f_3(n, T).\end{aligned}$$

15 Da die Kennwerte n , K , T der Strecke die Sprungantwort $x(t)$ eindeutig beschreiben, gibt es ebenfalls einen Zusammenhang zwischen m äquidistanten, diskreten Werten x_i , $i = 1, \dots, m$, der Streckensprungantwort $x(t)$ und den betragsoptimalen Reglerparametern:

20

$$\begin{aligned}K_p &= g_1(x_1, \dots, x_m, \Delta t), \\T_n &= g_2(x_1, \dots, x_m, \Delta t) \text{ und} \\T_v &= g_3(x_1, \dots, x_m, \Delta t).\end{aligned}$$

25 Auch für andere Streckentypen existieren entsprechende Beziehungen, wobei die Funktionen g_i vom jeweils verwendeten Entwurfskriterium (Betragsoptimum, quadratische Regelfläche, ...) abhängen.

30 Als neuronales Netz ist ein MLP (Multi Layer Perceptron)-Netz mit zehn Eingängen für die Stützwerte der Sprungantwort, einem Eingang für das Zeitinkrement Δt , eventuell einem Eingang für das Umschaltsignal PI/PID und je einem Ausgang für K_p , T_n , T_v geeignet. Zur Lerndatengenerierung werden zunächst die
35 Abtastwerte der Sprungantworten verschiedener analytischer Streckenmodelle berechnet und die Reglerparameter anhand der bekannten Einstellregeln (z. B. Betragsoptimum für PT_n -

- Strecken) vorgegeben. Weitere Lerndaten werden durch Regelkreissimulation und numerische Optimierung der Reglerparameter gewonnen. Mit den so erhaltenen Lerndaten wird schließlich das neuronale Netz trainiert. Für diese Daten liefert also das neuronale Netz optimale Ergebnisse. Anschließend empfiehlt sich ein Test der Generalisierungseigenschaften des Netzes an Strecken, für die keine Reglerparameter als Trainingsdaten zur Verfügung standen.
- 10 Als Ergebnis erhält man ein trainiertes neuronales Netz, dessen interne Parameter vollständig bekannt sind. Es kann damit auf einer vergleichsweise einfachen Hardware implementiert werden, da eine hohe Rechenleistung nur für den Lernvorgang erforderlich ist. Die Anwendung des neuronalen Netzes im Regelkreis erfordert lediglich das Anlegen der als Eingangsgrößen dienenden Abtastwerte der Streckensprungantwort und die einmalige Durchrechnung des Netzes. Ohne jede weitere rechenintensive Optimierung liefert das Netz zu einer beliebigen Sprungantwort sofort gute, an den gelernten Stützwerten optimale Reglerparameter. Ein Modell der Strecke wird für die eigentliche Adaption nicht mehr benötigt.
- 15
- 20

Patentansprüche

1. Einrichtung zur adaptiven Regelung einer Strecke (3)
 - mit einem Vergleicher (1), der aus einem Vergleich einer
5 an der Strecke (3) gemessenen Regelgröße (x) mit einer
Führungsgröße (w) eine Regeldifferenz (xd) bildet,
 - mit einem Regler (2), der in Abhängigkeit von der Regel-
differenz (xd) eine Stellgröße (y) für die Strecke (3) be-
stimmt, und
 - 10 - mit einer Signalvorverarbeitung (4), mit der aus dem zeit-
lichen Verlauf der Regelgröße (x) Abtastwerte (a) erzeug-
bar sind,
gekennzeichnet durch
ein neuronales Netz (5), das in Abhängigkeit von den Abtast-
15 werten (a) die Parameter (Kp, Tn, Tv) des Reglers berechnet.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der Regler (2) ein PI- oder PID-Regler
ist.
- 20 3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-
zeichnet, daß für die Erzeugung der Abtastwerte (a) in
der Signalvorverarbeitung (4) der Strecke (3) durch den Reg-
ler (2) ein Stellgrößensprung aufschaltbar ist.
- 25 4. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, daß das neuronale Netz (5)
anhand von Lerndaten der Parameter (Kp, Tn, Tv) und der Ab-
tastwerte (a) der Streckensprungantwort trainiert ist, die
30 durch Parameter-Einstellregeln für ein oder mehrere Strecken-
modelle generiert wurden.
5. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, daß das neuronale Netz (5)
35 anhand von Lerndaten der Parameter (Kp, Tn, Tv) und der Ab-
tastwerte (a) der Streckensprungantwort trainiert ist, die
durch Regelkreissimulation und numerische Optimierung der

7

Reglerparameter (K_p , T_n , T_v) für ein oder mehrere Streckenmodelle generiert wurden.

1/1

FIG 1

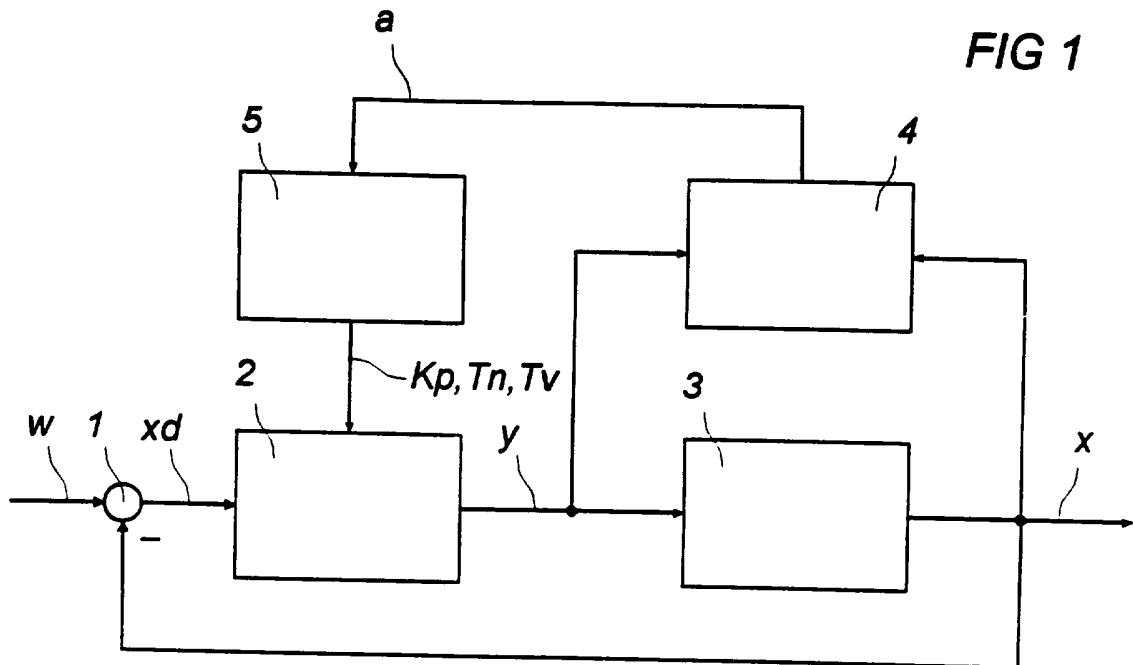


FIG 2

