



CH 687 047 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 687 047 A5

**51 Int. Cl.⁶: G 05 B 013/02
B 29 C 045/76
B 29 C 047/02**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 03565/93

22 Anmeldungsdatum: 30.11.1993

24 Patent erteilt: 30.08.1996

45 Patentschrift
veröffentlicht: 30.08.1996

73 Inhaber:
Bühler AG, Patentabteilung/PT-5, 9240 Uzwil (CH)

72 Erfinder:
Van Lengerich, Bernhard, Dr., Uzwil (CH)
Schär, Richard, Wittenbach (CH)
Scheitlin, Peter, St. Gallen (CH)
Sievi, Erwin, Neuwil (CH)

54 Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine.

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine. Die Erfindung ist insbesondere auf die Regelung von Extrudern zur Herstellung von Lebensmitteln gerichtet, deren Regelung bekanntlich in hohem Masse von subjektiven Entscheidungskriterien beeinflusst wird.

Anhand von Versuchsdaten und/oder Expertenwissen werden Daten für Sollwertvorgaben einer Regelung erstellt, deren Stellgrößen von der Produktqualität abhängen. Mittels dieser Sollwertvorgaben wird ein Arbeitspunkt optimiert und stabilisiert und ein in die Maschinensteuerung integrierter Regler erstellt.



CH 687 047 A5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft vor allem solche Arbeitsmaschinen, deren Steuerung und Regelung von zumeist mehreren subjektiven Entscheidungsgrössen beeinflusst wird, insbesondere die Regelung von Extrudern zur Herstellung von Lebensmitteln einerseits und das Konstanthalten durch eine oder mehrere on line Messgrössen andererseits.

Die Steuerung bzw. Regelung eines Extruders unterliegt einer Vielzahl von Einflussgrössen. Extrusionsprodukte werden hinsichtlich Quantität und Qualität von verschiedensten Eingangsgrössen beeinflusst. Hieraus ergeben sich vielfältige Variationen von Stellgrössen, die in hohem Masse von der Erfahrung und der Einfühlung des jeweiligen Bedienpersonals abhängen. Vor allem die Extrudierung neuer Produkte erfordert einen hohen Einstellungsaufwand ausgehend von bekannten Arbeitspunkten mit ähnlichen Produkten. Da die Charakteristik der Regelstrecken wesentlich von der Extruderkonfiguration abhängt, geschieht dies weitgehend nach dem Prinzip «trial and error». Ist ein gesuchter Arbeitspunkt erreicht, kann dieser nach einer gewissen Lernphase stabilisiert/optimiert werden. Diese Vorgehensweise ist notwendig, da aus den Erfahrungen einer bestimmten Extruderkonfiguration und bekannten Rezepturen nicht eindeutig auf das Verhalten in einem neuen Arbeitspunkt geschlossen werden kann.

Das Bedienpersonal arbeitet üblicherweise in einem mehrdimensionalen Regelraum mit mehreren Stellgrössen. Im allgemeinen ist der Mensch nicht in der Lage, diesen Regelraum in Echtzeit zu überblicken. Erfahrungen und Beobachtungen sind meist nur auf zwei Dimensionen erstreckbar, was eine optimale Regelung ausschliesst.

Seit langem wird daher versucht, diese komplizierten Steuerungs- und Regelungsfunktionen zu automatisieren. Aufgrund der Fülle von Einflussgrössen konnte dies bisher nur unvollkommen und mit sehr hohem Aufwand realisiert werden, da eine geschlossene, mathematische Beschreibung des Extrusionsvorganges von Lebensmitteln mit genügender Präzision in der Vielzahl seiner Parameter nicht existent ist.

Für Regelvorgänge mit komplexen Wirkzusammenhängen oder mit problematischer Ermittlung von Kenngrössen (Eingang) sind bereits sogenannte Fuzzy-Regler, z.B. aus der EP-A 355 753 und der EP-B 290 999, bekanntgeworden, die jedoch durch eine aufwendige Signalverarbeitung gekennzeichnet sind.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine zu entwickeln, das eine Optimierung und Stabilisierung bzw. adaptive Anpassung eines Arbeitspunktes, insbesondere bei einem Extruder zur Extrusion von Lebensmitteln ermöglicht. Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Aufgabe der Erfindung besteht des weiteren darin, für produktspezifische Regelstrecken Regler mit der vorhandenen Datenbasis

zu generieren. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, nach dem erfindungsgemässen Verfahren arbeitende Regler und Code-Generatoren, d.h. die zur Erstellung solcher Regler notwendigen Hilfsmittel zu schaffen, die eine Optimierung und Stabilisierung eines gefundenen Arbeitspunktes ermöglicht.

Ausgangspunkt der Erfindung ist die Überlegung, dass, insbesondere bei der Herstellung von Lebensmitteln die Beurteilung der Produktqualität von vielen subjektiven Entscheidungskriterien beeinflusst wird, wobei diese Kriterien zumeist nur durch menschliche Sinne determiniert sind. Sie sind in hohem Mass von Expertenwissen abhängig und/oder müssen nach Versuchen durch sensorische und analytische Beurteilung ermittelt werden. Die Fülle der zu ermittelnden Daten ist so umfangreich (mehrdimensional), dass die Erstellung einer Regelung gerechtfertigt ist. Durch die Verbindung von Produktqualität und Stellgrössen kann die Regelstrecke als «black box» betrachtet werden. Hierbei werden scheinbare Zusammenhänge dargestellt, die den wirklichen nicht zwingend entsprechen müssen. Wie auch beim menschlichen Denken besteht kein Anspruch auf die wirklichen physikalischen Zusammenhänge. Mittels eines üblichen Rechnersystems werden die Zusammenhänge umgekehrt und Stellgrössen in Abhängigkeit von der gewünschten Produktqualität und on line Messgrössen angeboten. Die Erstellung erfolgt in einer Programmiersprache sowie ihre Integration in eine konventionelle Maschinensteuerung (Sollwertvorgabe). Aus dem bekannten Stand der Technik heraus ist es nicht offensichtlich, durch Versuchsplanung und Abfahren eines Kennfeldes und Überspringen von Systemparametern den Einfahraufwand eines Extruders drastisch zu reduzieren (Parameterreduzierung).

Es ist selbstverständlich, dass alle Daten für weitere Untersuchungen oder technische Anwendung gespeichert werden.

Zur Erstellung eines solchen ersten Systems können verschiedene Versuchsdesign gewählt werden.

Die Integration eines Viskositätssensors ermöglicht eine Regelung (Betriebspunktstabilisierung) mit on line Messgrössen. Derartige Messgrössen sind die Produkttemperatur und der Druck vor der Düse, die spezifische, mechanische Energieeinleitung, insbesondere die viskosen Eigenschaften und ggf. auch die Verweilzeit.

Ein solcher Viskositätssensor ist in an sich bekannter Weise zwischen Schnecken spitze und Düse installiert und ermöglicht die Messung der Fliess- und Viskositätskurve unter Produktionsbedingungen (ganzer Produktstrom oder Teilstrom). Der Viskositätssensor stellt somit einen Hauptteil der Regelstrecke dar.

Die Produkteigenschaften werden durch die gewählte Vorgehensweise (Rechenmethode) eindeutig den on line Messgrössen zugeordnet und umgekehrt. Die Stellgrössen sind eindeutig als Funktion, Regressionsgleichung, Fuzzysystem oder neuronales Netz der on line Messgrössen beschreibbar:

$x, m, n, T_d, TG = f(p, T, SME, t, \eta)$

Bei Abweichungen von einer oder mehrerer abhängigen Grössen werden die unabhängigen Variablen angepasst.

Mit den vorhandenen Daten ist es weiterhin möglich, eine entsprechende Automatisierung vorausgesetzt, für weitere, produktspezifische Regelstrecken entsprechende Regelungen zu adaptieren, d.h. für jede Regelstrecke quasi «auf Knopfdruck» einen Regler zu generieren. In einem adaptiven System (lernfähig mit nichtlinearer Abbildung der Regelstrecke) können während der Produktion gefahrene Punkte in die Systembildung einbezogen werden, so dass dieses erweitert oder an veränderte Bedingungen angepasst werden kann.

Neben der genannten unscharfen Logik (Fuzzy) und der Regression können die Wirkzusammenhänge prinzipiell auch durch neuronale Netze oder mathematische Modellierung dargestellt werden. Eine derartige Modellierung ist jedoch sehr aufwendig und lässt zudem eine Darstellung als «black box» nicht zu (neuronale Netze ausgenommen).

Die erfindungsgemässe Anwendung zeigt als wesentlichen Vorteil, die Erfahrungen des Bedienpersonals in einer aufwandsarmen und damit kostengünstigen Regelung zu automatisieren. Wie bekannt zeigte sich, dass die Fuzzy-Logik sehr gut geeignet ist, Prozesse mit komplizierten Wirkzusammenhängen wie z.B. an Extrudern mit bezahlbarem Aufwand zu regeln. Es ist möglich, auf eine genaue mathematische Modellierung der Regelstrecke zu verzichten und eine Regelcharakteristik für jeden neuen Arbeitspunkt einer vorgegebenen Extruderkonfiguration zu erstellen. Linguistische Daten zur Erreichung eines Arbeitspunktes werden «fuzzyfiziert». Es entsteht kein dynamisches System beim Anfahren und es ist scheinbar langsamer als konventionelle Logik, jedoch schneller und vor allem sicherer und reproduzierbarer arbeitend, als dies dem Menschen möglich ist.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher beschrieben. Die zugehörige Zeichnung zeigt einen Viskositätssensor in einer Extruderdüse in einer Prinzipdarstellung.

Die besondere Schwierigkeit bei der Regelung des Extrusionsvorganges liegt darin, dass sich die Erfahrungen des Bedienpersonals stets auf eine bestimmte Extruderkonfiguration für genau vorgegebene Rezepturen bei einem bestimmten Arbeitspunkt beschränken. Diese Erfahrungen sind nicht eindeutig auf andere Produkteinstellungen übertragbar, die Charakteristik der Regelstrecke ändert sich von Punkt zu Punkt. Es ist so nicht möglich, eine Regelung zu konzipieren, die jeden beliebigen Extrusionsvorgang zu regeln vermag. Es ist daher zunächst erforderlich, Daten und Erfahrungen über die Wirkzusammenhänge zwischen Stellgrössen (z.B. Drehzahl, Massestrom, Wassergehalt) und Produktkriterien (z.B. Farbe, Löslichkeit, Expansionsgrad) zu ermitteln, z.B. durch Abfahren verschiedener Konfigurationen am Extruder. Hierzu werden die einzelnen Stellgrössen so variiert, dass der Regelraum, in dem sich der oder die gesuchten Arbeitspunkte befinden, abgedeckt wird. An spezifischen

Punkten werden Stichproben des Produkts entnommen und anhand von Produktkriterien klassifiziert. Gemessen werden on line Grössen. Mittels derartiger «Stützstellen» werden Bereiche festgelegt, in denen sich die gesuchten Arbeitspunkte befinden.

In einer ersten Regelungsstufe erfolgt eine Annäherung an den gewünschten Arbeitspunkt. Die gewünschte Kombination der Produktkriterien wird als absolute Grösse an einen Regler angelegt und dieser generiert absolute Stellgrössen als Ausgangssignal. Der Extruder wird daraufhin aus dem Stand via vorgegebener Rainbowfunktion in den vorgegebenen Arbeitspunkt gefahren (Rampen). Gleichzeitig wird um den Arbeitspunkt herum in an sich bekannter Weise ein Wirkmodell erstellt, welches in diesem Bereich die Zusammenhänge zwischen der Veränderung einer on line Messgrösse und Stellgrösse und der daraus resultierenden Änderungen der Produktkriterien beschreibt.

Befindet sich der Extruder im gewünschten Arbeitspunkt, erfolgt in einer zweiten Regelungsstufe eine Annäherung an den optimalen Arbeitspunkt auf Grund von Produktkriterien anhand linguistischer Begriffe. Ein Fuzzy-Regler erzeugt aus diesen Angaben inkrementelle Eingangsgrössen. Damit kann sich das System beliebig (im Gegensatz zu absoluten Stellgrössen) nah an einen optimalen Arbeitspunkt herantasten, es ist weiterhin nicht erforderlich, Nichtlinearitäten der Regelstrecke zu beachten. Bei genügend kleinen Inkrementen folgt der Regler automatisch jedem nichtlinearen Kurvenverlauf.

Zur Stabilisierung des Betriebspunktes kann eine dritte Regelungsstufe eingesetzt werden. Ihr Zweck besteht darin, die in der zweiten Regelungsstufe gemessenen on line Messgrössen stabil zu halten und somit die Produktqualität zu stabilisieren. Dies ist möglich, da die Qualitätskriterien des Produkts und die on line Messgrössen eindeutig aufeinander abbildbar sind. Die Stellgrössen werden bei Änderungen der on line Messgrössen in einem dynamischen System bei einem Abdriften derart angepasst, dass die on line Messgrössen wieder auf ihre ursprünglichen Werte gesetzt werden.

Bei gezielter Veränderung des Betriebspunktes aus der zweiten Regelungsstufe werden die Sollwerte (on line Messgrössen) aus der dritten Regelungsstufe angepasst und auf den neuen Werten erneut stabilisiert.

Der verwendete Viskositätssensor kann in an sich bekannter Weise sowohl keilförmig als auch in Stufen ausgebildet sein, wie dies z.B. in der DE-OS 4 220 157 beschrieben ist. Die in der Fig. dargestellte Keilform stellt eine vereinfachte Konstruktion dar, die jedoch zur on line Messung vollumfänglich geeignet ist. Hierzu ist in einem Extruder 1 ein in line Viskositätssensor 2 in an sich bekannter Weise und in einer an sich bekannten Anordnung zwischen einer Schnecken spitze 3 und einer Düse 4 des Extruders 1 installiert.

Es ist unvermeidlich, für jedes zu extrudierende Produkt einen speziellen Regler zu entwickeln. Dies gestattet andererseits, die Regler nach einem bestimmten Algorithmus zu erzeugen.

Die Codegenerierung erfolgt in einem separaten Vorgehensmuster dergestalt, dass ein spezifischer

Regelraum manuell abgefahren wird und eine Klassifizierung der gewonnenen Daten erfolgt. Auf Basis dieser Informationen wird ein Vektor der Produktkriterien eingegeben und ein spezieller Regler zur Optimierung und Stabilisierung des Arbeitspunktes erzeugt. Dieser kann dann direkt in die bereits bestehende Regelungsumgebung integriert werden.

Das Bedienpersonal kann so den Extruder auf Grund visueller Produktbeurteilung mit linguistischen Variablen einfach optimieren und damit online Messgrößen stabilisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Arbeitsmaschine unter Verwendung statistischer und mathematischer bzw. informationstechnischer Verfahren sowie Maschinensteuerungen zur Steuerung/Regelung von Arbeitsparametern, dadurch gekennzeichnet, dass
 - anhand von Versuchsdaten und/oder Expertenwissen Daten für Sollwertvorgaben einer Regelung für eine Maschinensteuerung erstellt werden, deren Stellgrößen von einer subjektiv vorbestimmten und sensorisch oder analytisch kontrollierten Produktqualität abhängen und
 - mittels dieser Sollwertvorgaben und zu variieren der Stellgrößen ein Arbeitspunkt der Arbeitsmaschine optimiert und stabilisiert wird, und um schlussendlich
 - eine Regelcharakteristik für jeden neuen Arbeitspunkt zu erstellen und in die Maschinensteuerung zu integrieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nach einer Eingabe und Speicherung der ermittelten Daten automatisiert Regelungen für spezifische Regelstrecken adaptiert und spezifische Regler generiert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelgrößen und die Stellgrößen als linguistische Variablen mittels einer Logik verarbeitet und zur Annäherung an einen optimalen Arbeitspunkt sowie dessen Stabilisierung verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass, ausgehend von bekannten Maschinendaten und ermittelten Prozessdaten zu verändernde Stellgrößen generiert werden und danach für produktspezifische Regelstrecken Regler generiert werden.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erstellung bzw. Generierung eines Reglers mittels Regression, Fuzzy oder neuronaler Netze erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsmaschine ein Extruder ist.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler prozessregelnd ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler ein prozessregelnder Fuzzy-Regler ist.
9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Code-Generator zur Code-Generierung in die Regelungsumgebung integriert ist.

10. Anwendung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Regelung eines Extruders (1), dadurch gekennzeichnet, dass ein inline-Viskositätssensor (2) zwischen einer Schnecken spitze (3) und einer Düse (4) des Extruders (1) installiert ist, um Stellgrößen zu erfassen.

