

Tempo beim Laser im Griff



Scannerkopf einer Laserbeschriftungsanlage
(Bild: Baasel Lasertech)

Bei Laserscannern ist eine möglichst schnelle und genaue Strahlführung erwünscht. Werden allerdings die PID-Regler hierfür auf höchste Schnelligkeit oder Genauigkeit optimiert, geht dies meist auf Kosten des jeweils anderen Parameters. Diesen Konflikt entschärfen PID-Regler, welche die Reglerparameter von der Regeldifferenz abhängig machen.

Regeldifferenzadaptierender PID-Regler verbessert Laserscannerführung

Martin Lugmair, Rainer Froriep, Franz Kuplent, München;
Lutz Langhans, Starnberg

Reglerparameter von einzelnen Größen, wie zum Beispiel der Regeldifferenz, abhängig zu machen, ist unter dem Begriff »Gain Scheduling« oder Verstärkungsanpassung bekannt. Mit dem Ziel, die Lageregelung von Laserscannern zu verbessern, werden zwei derartige Adaptionsmöglichkeiten vorgestellt: eine Adaption des P-Zweigs eines PD-Reglers sowie eine Adaption des I-Zweigs eines PID-Reglers. Da das neue, patentierte Regelungskonzept für Hochgeschwindigkeits-Regelungen geeignet ist, wurde hierfür die Bezeichnung »Rapid-Regelung« (Regeldifferenz-Adaptierende PID-Regelung) gewählt [1].

Ein Laserscanner besteht aus einem Drehmagneten, auf dessen Welle ein Spiegel befestigt ist. Durch Anlegen einer Spannung kann die Scannerwelle mit Spiegel gedreht und somit der auf den Spiegel gerichtete Laserstrahl ausgelenkt werden. Ein kapazitiver Sensor auf der Drehachse misst dabei den momentanen Drehwinkel. Mit zwei senkrecht zueinander positionierten Laserscannern ist man in der Lage, den Laserstrahl entlang einer Oberfläche zu führen (Bild 1). Diese Anordnung wird unter anderem zum Schneiden oder Beschriften von Bauteilen unterschiedlichster Materialien verwendet.

Die Funktionsfähigkeit des neuen Regelungskonzepts wird durch Messergebnisse an einem realen Laserscanner belegt. Der Laserscanner ist dabei als »Hardware-in-the-Loop« in ein Simulationssystem, bestehend aus Simulink von The Mathworks und Control Desk von dSpace, eingebunden. Mit diesem System ist ein schneller Übergang aus der Simulation in die reale Regelung möglich (so genanntes schnelles Regler-Prototyping).

P-Adaption reduziert bleibende Regeldifferenz

Es ist bekannt, dass ein fest eingestellter P- oder PD-Regler eine Abweichung zwischen Soll- und Istwert umso schneller und genauer ausregelt, je größer die Reglerverstärkung ist. Die Reglerverstärkung ist jedoch nach oben dadurch begrenzt, dass die Regelung zum Beispiel bei einer Stoßanregung zu schwingen beginnt und sich aufschaukeln kann. Will man also hohe Genauigkeit bei geringer Schwingneigung, muss die Reglerverstärkung bei großen Abweichungen zwischen Soll- und Istwert klein sein und darf erst bei kleinen Abweichungen, wenn das System nahezu zur Ruhe gekommen ist, groß werden.

Um Schaltvorgänge zu vermeiden, wird das gewünschte Verhalten mit einer kontinuierlichen Adaptionsfunktion realisiert, deren Funktionswert aus der momentanen Regeldifferenz berechnet wird. Der Funk-

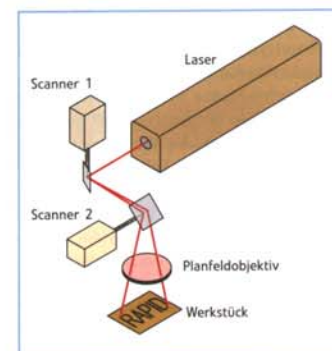


Bild 1. Laserbeschriftungsanlagen sind typische Anwendungen für Laserscanner

tionswert der Adaptionfunktion wird in den P-Zweig des PD-Reglers multipliziert und erhöht so den P-Anteil nach einem Einschwingvorgang. Geeignet ist zum Beispiel folgende Funktion (mit e wird die Regeldifferenz bezeichnet):

$$f(e) = 1 + \frac{c_1 - 1}{(c_2 \cdot e)^2 + 1}$$

Die Funktion enthält zwei Parameter, welche bei der Regleroptimierung passend eingestellt werden müssen. Für zwei unterschiedliche Parameterwerte c_1 und c_2 ist der Funktionsverlauf in Abhängigkeit von der Regeldifferenz e in Bild 2 dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass der Parameter c_1 den Funktionswert bei $e = 0$ festlegt, während der Parameter c_2 die Steilheit der Funktion bestimmt. Der Funktionswert bei großen Regeldifferenzen beträgt 1 (also kein erhöhter P-Anteil des Reglers), und der Funktionswert bei kleinen Regeldifferenzen ist c_1 (was bedeutet, dass der P-Anteil jetzt um den Faktor c_1 vergrößert wird). Wie die Adaptionfunktion in den Regelkreis geschaltet wird, zeigt der Signalflussplan in Bild 3. Der Block »Adaption« beinhaltet die Adaptionfunktion. In Bild 3 sind ebenfalls die für das schnelle Regler-Prototyping notwendigen Schnittstellenblöcke aufgeführt (rot eingrahmt).

Die Wirkungsweise der Adaption im Regelkreis ist in den Bildern 4a bis 4c zu erkennen. Bild 4a zeigt den zeitlichen Verlauf der Regelgröße x mit einer bleibenden Regeldifferenz, die sich bei optimal eingestelltem PD-Regler ergibt (die durchgezogene rote Linie ist die Führungsgröße w , die gestrichelten Linien

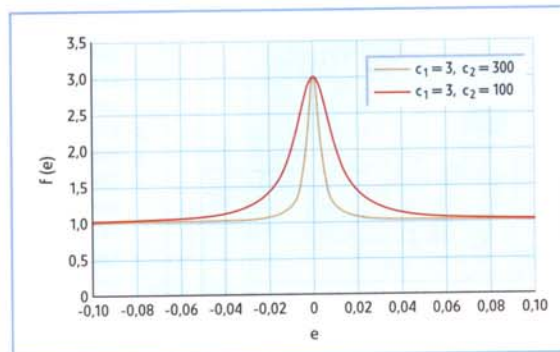


Bild 2.
P-Parameter-
adaptionfunktion in
Abhängigkeit von der
Regeldifferenz e

markieren den erlaubten Toleranzbereich). Als Testsignal wurde ein zur Nulllage symmetrisches Rechtecksignal verwendet. Adaptiert man nun wie oben beschrieben den P-Zweig des Reglers, so

KONTAKT

Baasel Lasertech,
82319 Starnberg,
Tel. 0 81 51 / 7 76 -1 45,
Fax 0 81 51 / 7 76 -1 59,
www.baasel.de

Labor für Steuerungs-
und Regelungstechnik,
FH München, FB 06,
80335 München,
Tel. 0 89 / 12 65 -13 69,
Fax 0 89 / 12 65 -14 80,
www.fb06.fh-muenchen.de/fb/

kann die bleibende Regeldifferenz deutlich verkleinert werden (siehe Bild 4b). Das Einschwingverhalten wird durch die Adaption kaum beeinflusst. Der zeitliche Verlauf der Funktionswerte der Adaption-

funktion ist in Bild 4c zu sehen. Erst nach etwa 4 ms wird der Funktionswert von 1 auf 3 erhöht.

Der P-Anteil des PD-Reglers ist also im stationären Zustand dreimal so hoch wie während der Einschwingphase, was bewirkt, dass die Regelgröße in das Toleranzband gehoben wird. Dabei ist allerdings hinzunehmen, dass die auf der Regelgröße liegenden Rauschanteile ebenfalls verstärkt werden. Was passiert, wenn man den P-Anteil ohne adaptive Anpassung auf den dreifachen Wert vergrößert, wird in Bild 4d deutlich: Durch die reduzierte Stabilität beginnt die Regelgröße stark zu schwingen.

Schnelles Einschwingen mittels I-Adaption

Mit einem I-Anteil im Regler lässt sich die Abweichung zwischen Ist- und Sollwert bei konstantem Sollwert exakt beseitigen. Fügt man einem P- oder PD-Regler einen I-Anteil hinzu, wird die Regelung jedoch langsamer. Dies lässt sich dadurch vermeiden, dass der I-Anteil erst bei hinreichend

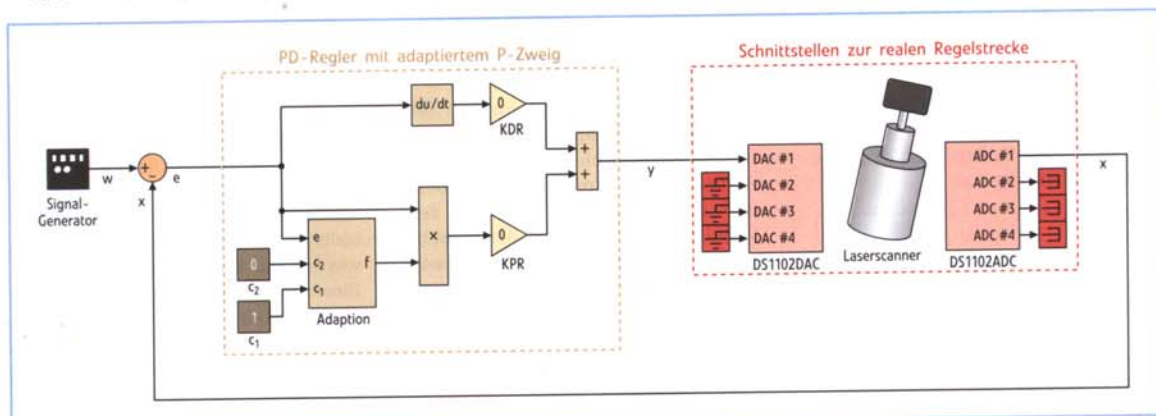


Bild 3. Die Regelung mit P-Parameter-adaptiertem PD-Regler als grafisches Programm in »Simulink«

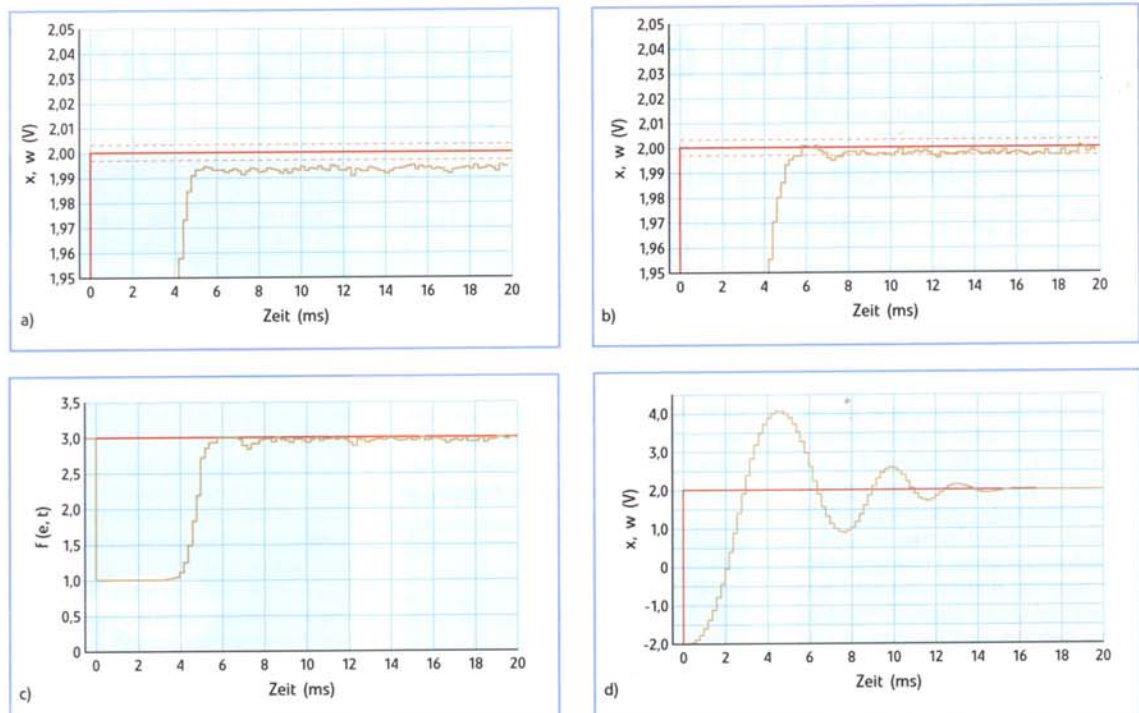


Bild 4. Nicht adaptierter PD-Regler mit bleibender Regeldifferenz (a), reduzierte Regeldifferenz durch Adaption des P-Zweigs (b) und Zeitverlauf des adaptierten P-Parameters (c); die Vergrößerung des P-Parameters ohne Adaption hat ein sehr schwach gedämpftes Einschwingen zur Folge (d)

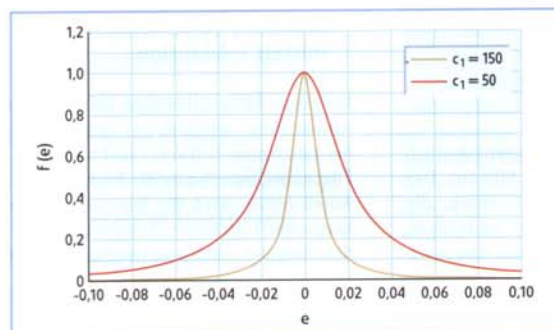


Bild 5. I-Parameter-adaptionsfunktion in Abhängigkeit von der Regeldifferenz e

kleinen Abweichungen zwischen Ist- und Sollwert hochgefahren wird.

Nachstehende Funktion ermöglicht die Umsetzung der Adaption:

$$f(e) = \frac{1}{(c_1 \cdot e)^2 + 1}$$

Es ist nur ein Parameter einzustellen. Er legt die Steilheit der Funktion fest. Bild 5 zeigt den Funktionsverlauf in Abhängigkeit von der Regeldifferenz e bei zwei un-

terschiedlichen Parameterwerten c_1 . Bei großen Regeldifferenzen gehen die Funktionswerte gegen null, und bei kleinen Regeldifferenzen streben die Funktionswerte gegen eins. Der Funktionswert der Adaptionsfunktion wird in den I-Zweig multipliziert, und zwar vor dem Integrator (siehe Bild 6). Dies hat zur Folge, dass während der Einschwingphase (bei großen Regeldifferenzen) der Integratoreingang gesperrt ist und erst, wenn kleine Regeldifferenzen auftreten (nach dem Einschwingen), freigegeben wird. Das Aufintegrieren und Beseitigen der Regeldifferenz beginnt

also erst nach der Einschwingphase, wodurch ein Überschwingen unterbleibt.

Anhand der Bilder 7a bis 7c kann man die Wirkung der Adaption im Regelkreis erkennen. Bild 7a verdeutlicht, dass ein gewöhnlicher (also nicht adaptierter) Integrator einen hohen Überschwinger und eine längere Ausregelzeit bewirkt. Wie in Bild 7b zu sehen ist, kann die bleibende Regeldifferenz durch die Adaption ohne Überschwingen beseitigt werden. Die Funktionswerte, welche die Adaptionsfunktion erzeugt, zeigt Bild 7c: Während der Einschwingphase ist der Funktionswert null und nimmt anschließend den Wert eins an. Weil hiermit die Eingangswerte des Integrators während des Einschwingens ebenfalls nahezu null sind, bleibt in dieser Zeit der Integrator inaktiv, was anhand von Bild 7d deutlich wird. Dieses Bild zeigt die Ausgangswerte des gesamten I-Zweigs des adaptierten PID-Reglers. In den ersten drei Millisekunden bleiben die Werte fast konstant. Sie steigen erst gegen Ende der Einschwingphase an. Ab jetzt wird die Regeldifferenz so lange aufintegriert, bis sie beseitigt ist.

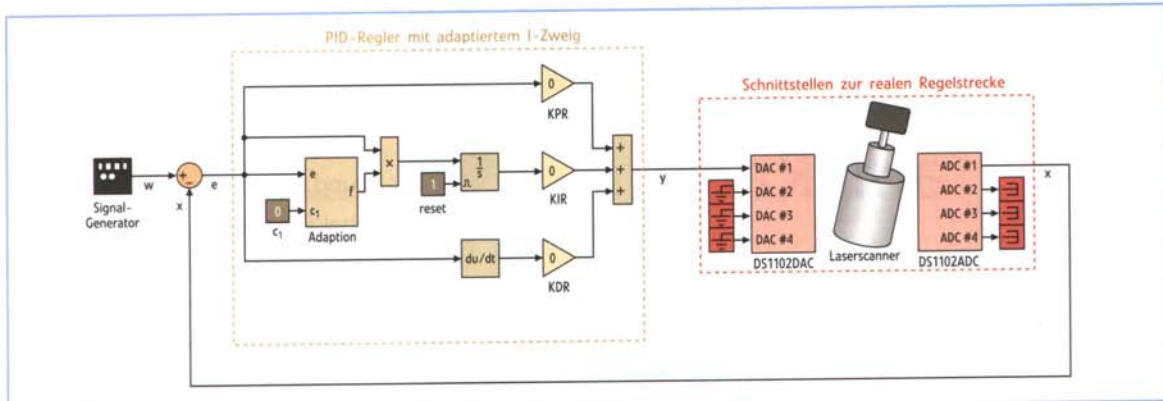


Bild 6. Grafisches Programm der Regelung mit I-Parameter-adaptiertem PID-Regler in Simulink

Fazit

Systematische Versuche am realen Gerät zeigen, dass die Lageregelung von Laserscannern in Laserbeschriftungsgeräten mit geeigneten Verstärkungsanpassungen verbessert werden kann. Der P-Parameter eines PD-Reglers oder der I-Parameter eines PID-Reglers wird durch die Regeldifferenz derart beeinflusst, dass sich eine höhere Genauigkeit und eine sehr kurze Ausregelzeit ergeben.

Literatur

1. L. Langhans: »Regeleinrichtung mit adaptiver Parameterkorrektur«; Patentschrift Nr. DE 196 19 271 C2
2. M. Lugmair: »Reglerentwicklung für ein Laserscannergalvanometer«; Diplomarbeit, FH München / Baasel Lasertech, München 2002
3. H. Mann, H. Schiffelgen, R. Froriep: »Einführung in die Regelungstechnik«; 8. Aufl., Hanser Verlag, München 2000

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Martin Lugmair war von April bis Dezember 2002 Diplomand im Fachbereich Feinwerk- und Mikrotechnik/Physikalische Technik an der FH München. Prof. Dr.-Ing. Rainer Froriep (r.froriep@fhm.edu) lehrt Regelungstechnik an der FH München. Dipl.-Ing. Franz Kuplent ist Lehrbeauftragter an der FH München im Fach Regelungstechnik. Dr. Lutz Langhans (lutz.langhans@baasel.de) ist Mitarbeiter der Firma Baasel Lasertech in Starnberg.

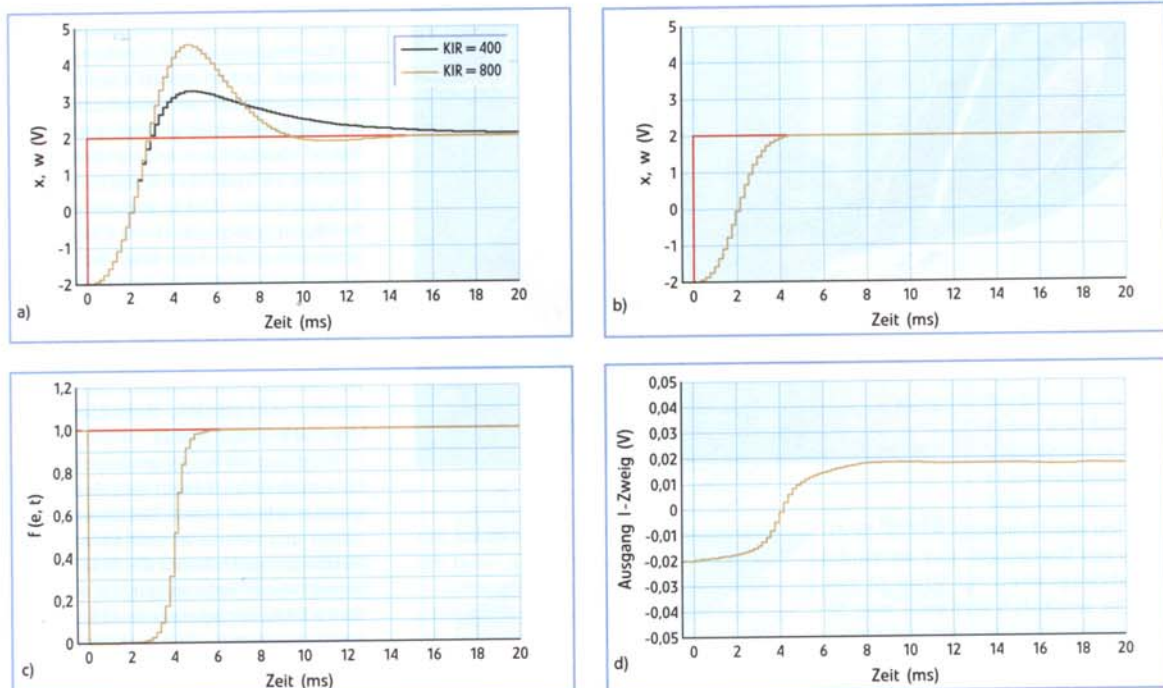


Bild 7. Der I-Anteil eines gewöhnlichen PID-Reglers bewirkt starkes Überschwingen (a), während mit einem I-Parameter-adaptierten PID-Regler keine Überschwingen auftreten (b); Zeitverlauf des adaptierten I-Parameters (c) und Zeitverlauf der Ausgangsgröße des I-Zweigs (d)