

Diplomarbeit

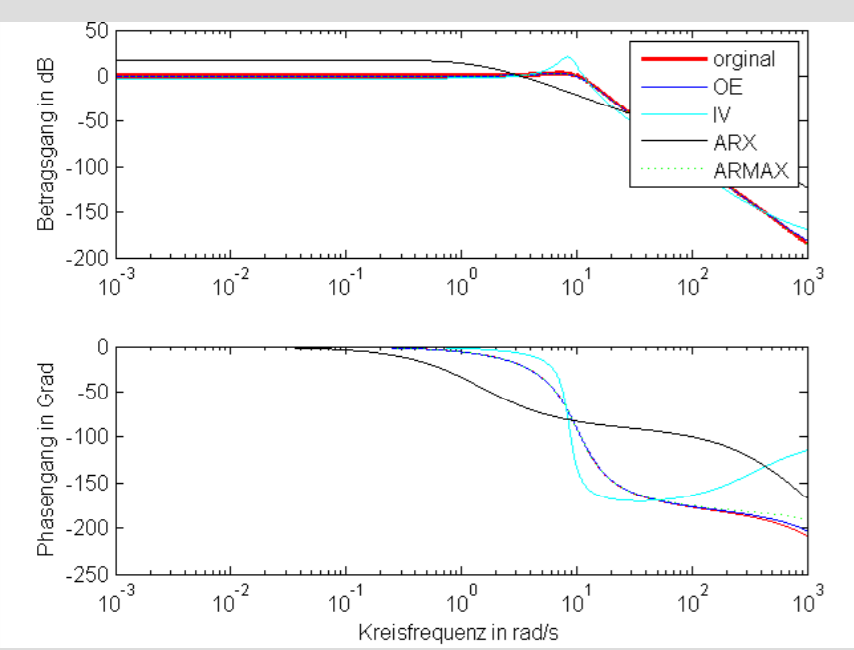
Closed Loop Identifikation für Modell prädiktive Regler

Verfasser: Stadlbauer Stephan
Betreuer: Prof. Dr. Luigi del Re
Mitbetreuer: DI Hannes Trogmann
Fertigstellung: Mai 2011

Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Closed Loop Identifikation (CLI) von linearen und nicht linearen Systemen. Diese Art der Identifikation wird dann eingesetzt, wenn aus Sicherheitsgründen ein Stabilisationsregler vorgesehen werden muss oder auf Grund der Instabilität der Strecke eine Identifikation mit den klassischen Open Loop Methoden nicht möglich ist. Auf Grundlage dieser Identifikation wird ein Modell prädiktiver Regler (MPC) entworfen, der ein gutes Streckenmodell benötigt, um eine gute Reglerperformance garantieren zu können. Dieses Reglerprinzip wird deshalb gewählt, weil neben der aktiven Berücksichtigung von Ausgangsbeschränkungen auch eine Regelung für Multi Input Multi Output (MIMO) Systeme keine Probleme bereitet und bereits ein gutes Modell der Strecke durch die Closed Loop Identifikation vorhanden ist. Die Kombination aus CLI und MPC-Entwurf wird an einem realen System, einem nichtlinearen Labormodell eines Helikopters mit zwei Freiheitsgraden angewandt und getestet. Dazu werden am Helikopter Tests der SISO- als auch der MIMO-CLI und des MIMO-MPC-Entwurfs durchgeführt, um festzustellen mit welcher Methode die besseren Ergebnisse erzielt werden können. Schlussendlich soll damit veranschaulicht werden, ob eine MIMO-CLI in allen Fällen durchgeführt werden kann und ob der MPC die Performance der vorhandenen Regelung verbessern kann.

Ausschluss der ARX- und IV-Identifikationsmodelle



Da es sich bei der CLI genau so wie bei der OLI um eine Identifikation mit Eingangs- und Ausgangsdaten handelt ist es prinzipiell möglich alle Fehlermodelle die bei der OLI zum Einsatz kommen auch bei der CLI zu verwenden. Es muss allerdings für jedes Fehlermodell überprüft werden, ob das wirklich möglich ist.

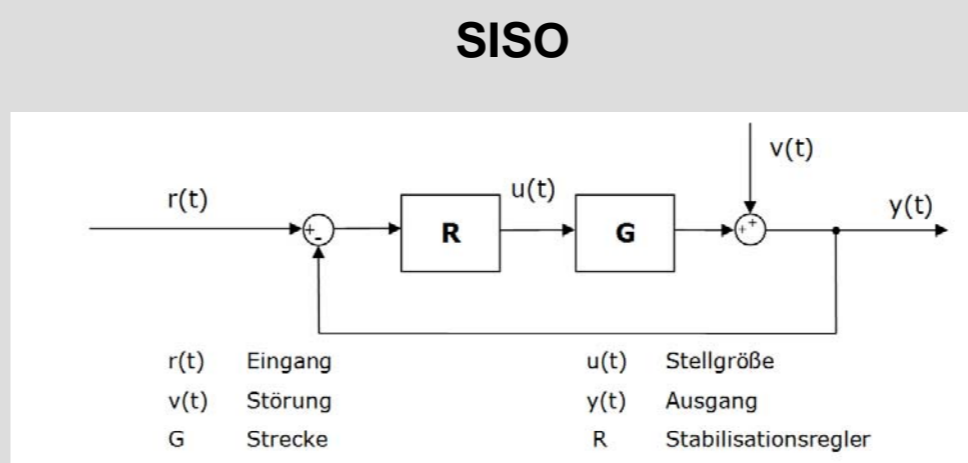
ARX: Fehler und Datenmatrix dürfen nicht korrelieren, durch Regelschleife tun sie das aber → nicht für die CLI einsetzbar

IV: Entkopplung von Fehler und Datenmatrix durch Hilfsmatrix W nicht möglich, da kein W gefunden werden kann, das stark mit der Datenmatrix aber nur schwach mit dem Fehler korreliert ist. → nicht für die CLI geeignet

OE/ARMAX: Keine Einschränkungen für beide Modelle sind für die CLI geeignet, was auch anhand der Grafik erkennbar ist.

Allgemeines

Closed Loop Identifikation (CLI)



Direkte Methode: Identifikation von G mithilfe von $u(t)$ und $y(t)$
 + keine Informationen über den Regler nötig
 + nichtlineare Regler erhöhen nicht die Komplexität der ID

Indirekte Methode: Identifikation von Gges mithilfe von $r(t)$ und $y(t)$

$$G = \frac{G_d}{R - R \cdot G_d}$$

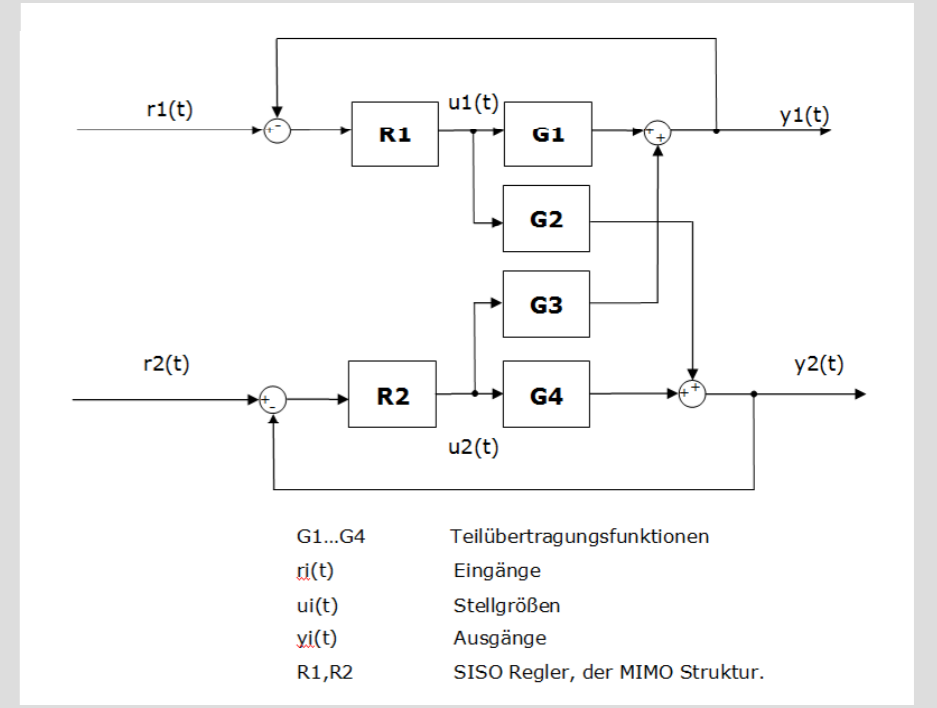
+ keine Probleme mit instabilen Strecken
 - Reglerparameter müssen bekannt sein

Input/Output Methode: Identifikation von G_{ru} und G_{cl} und herausrechnen von G

$$\frac{G_d}{G_{ru}} = \frac{R \cdot G}{1 + R \cdot G} = G$$

+ keine bekannten Reglerparameter nötig
 - zwei Identifikationen nötig

MIMO



$G_{1..G4}$ Teilübertragungsfunktionen
 $r_1(t), r_2(t)$ Eingänge
 $u_1(t), u_2(t)$ Stellgrößen
 $y_1(t), y_2(t)$ Ausgänge
 R_1, R_2 SISO Regler, der MIMO Struktur.

$$G = \begin{pmatrix} G_1 & G_3 \\ G_2 & G_4 \end{pmatrix}$$

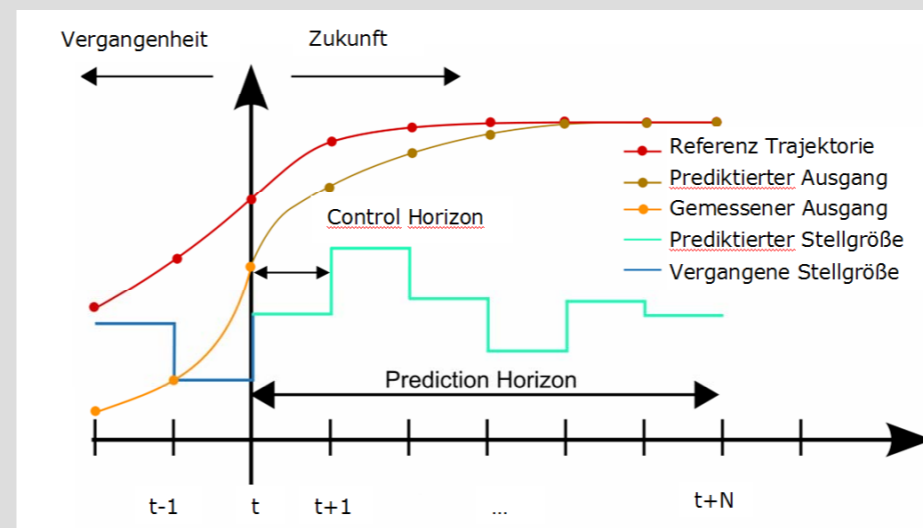
G_1 und G_4 sind die dominanten (80%) und G_2 und G_3 die rezessiven (20%) Übertragungsfunktionen

Gleiches Prinzip wie bei SISO-CLI

Direkte Methode: Identifikation von G mithilfe der Stellgrößen $u_1(t), u_2(t)$ und der Ausgänge $y_1(t)$ und $y_2(t)$
 + keine Informationen über den Regler nötig
 - durch MIMO Struktur, aufwendigeres Inputdesign nötig

Indirekte Methode: Identifikation von Gges mithilfe der Eingänge $r_1(t), r_2(t)$ und der Ausgänge $y_1(t)$ und $y_2(t)$
 + keine Probleme mit instabilen Strecken
 - gesteigerter Aufwand beim herausrechnen von R durch MIMO Struktur

Modell prädiktiver Regler (MPC)



Als modellbasierte prädiktive Regelungsverfahren werden Algorithmen bezeichnet die mithilfe eines dynamischen Prozessmodells (erstellt durch CLI) einen zukünftigen Stellgrößenverlauf ermitteln. Die Berechnung erfolgt dabei aufgrund eines Gütekriteriums (Kostenfunktion) wobei Beschränkungen berücksichtigt werden können.

$$\arg \min_u \sum_{j=0}^{n-1} (y_j - y_{ref,j})^T \cdot Q \cdot (y_j - y_{ref,j}) + \Delta u^T \cdot R \cdot \Delta u$$

Das Ziel bei dieser Optimierung ist es den Trackingfehler zwischen Ein- und Ausgang (siehe Abbildung) so gering wie möglich zu halten. Dazu wird mithilfe der Optimierung ein Regler berechnet der den zukünftigen Stellgrößenverlauf so vorgeben soll, dass ein möglichst kleiner Trackingfehler erreicht wird.

Weiters eignet sich der MPC hervorragend für die Regelung von MIMO Systemen.

Reales Helikoptermodell

1) Modellbeschreibung



Wie in der Abbildung links zu erkennen ist, handelt es sich bei realen Helikoptermodell um ein Modell mit 2 Freiheitsgraden. Es sind also sowohl Gier- als auch Nickwinkel Bewegungen möglich. Wenn man das Modell etwas genauer betrachtet stellt man fest, dass es sich um ein nichtlineares, beschränktes, instabiles Helikoptermodell handelt. Dadurch eignet es sich besonders gut für die Identifikation mit Hilfe der CLI und der Regelung mit Hilfe eines MPC.

2) Input Design und Messdatenaufnahme

Die Anregung des Helikoptermodells erfolgte mit zwei teilerfremden Rechtecksignalen um eine gute Identifizierbarkeit der Übertragungsfunktionen in den Nebendiagonalen (G_2 und G_3) gewährleisten zu können.

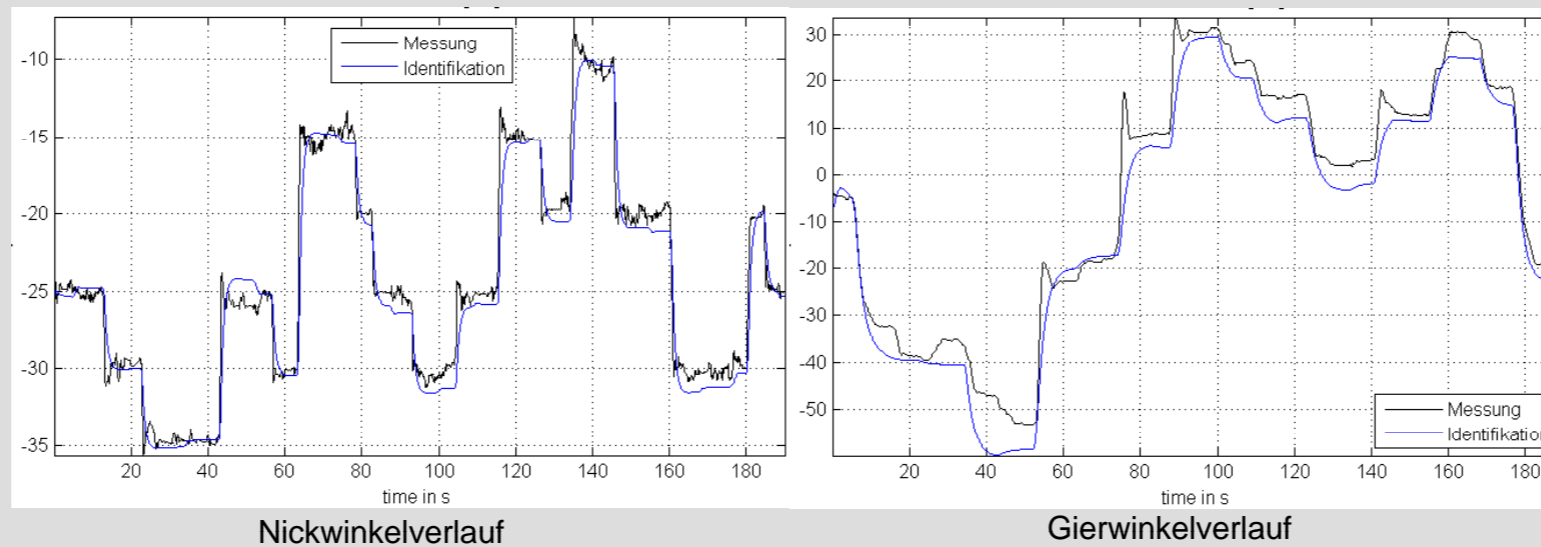
Erkenntnisse nach der Messdatenaufnahme:

- Stellgröße verrauscht → Filterung nötig → Filterung vermindert Informationsgehalt der Stellgröße zu stark → alle Identifikationen die die Stellgröße verwenden müssen ausgeschlossen werden
- Starke Abhängigkeit von Gier- und Nickwinkel → MIMO Identifikation
- Starke Abweichungen von Sollgierwinkelverlauf mit dem vorhandenen Stabilisationsregler
- Nickwinkelrotor muss in beide Richtungen drehen, durch die Rotorposition entsteht eine bevorzugte und eine etwas schlechtere Richtung

→ Es wird die indirekte MIMO CLI Methode zu Identifikation des Helikoptermodells verwendet.

3) Validationsergebnisse

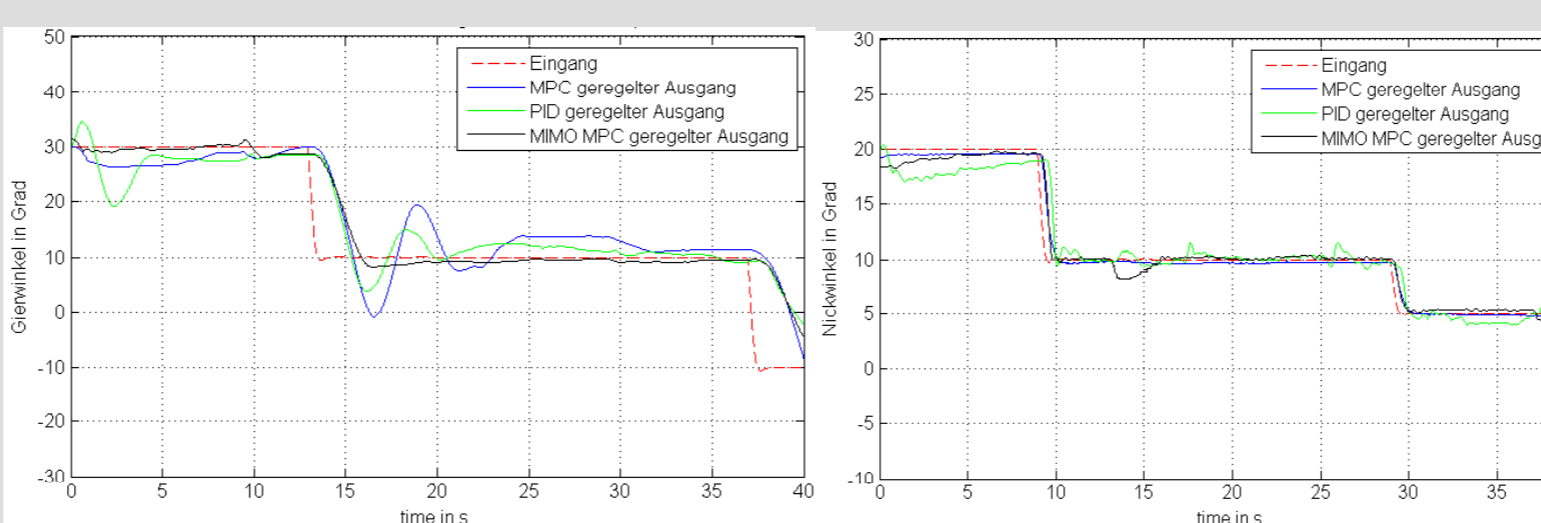
Nach der Identifikation wird eine Validation des identifizierten Modells durchgeführt, was zu folgendem Ergebnis führte.



Gutes Ergebnis über den gesamten Bereich

Etwas schlechtere Ergebnisse die durch die Nickwinkelrotorstellung und die starke Gierwinkelabweichung, die beim Stabilisationsregler auftritt, erklärt werden kann.

5) Vergleich des Stabilisationsregler mit SISO- und MIMO MPC



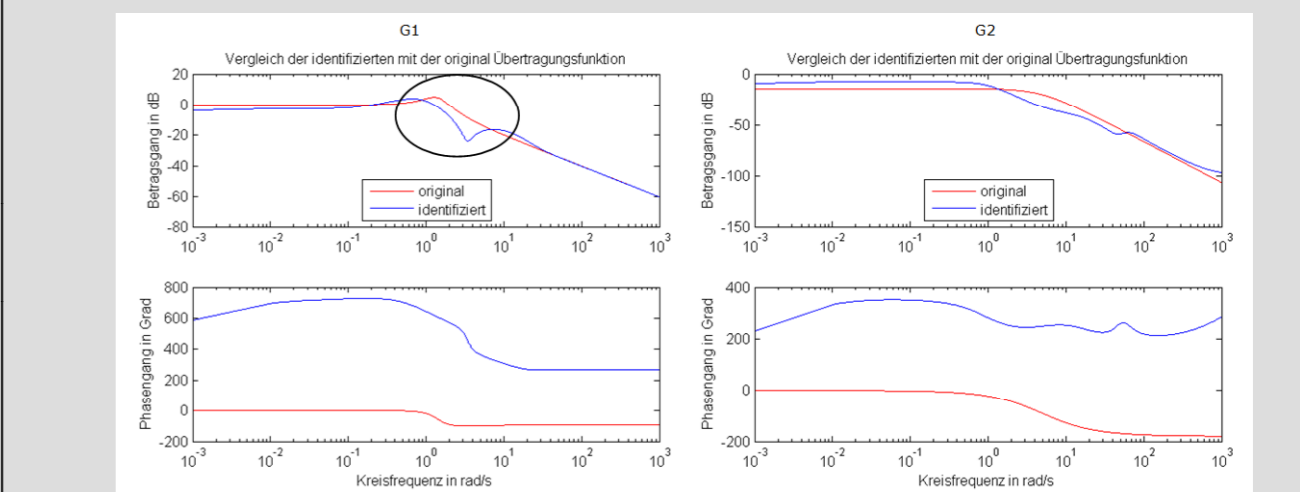
Wie man in den beiden Abbildungen erkennen kann, ist der MIMO-MPC (wenn man beide Verläufe gleichzeitig betrachtet) den beiden anderen Konzepten beim Tracking eindeutig überlegen. Es ist also festzustellen, dass sich für die MIMO-MPC Regelung das beste Gesamtergebnis einstellt. Das ist darauf zurückzuführen, dass mithilfe der MIMO CLI die Kopplungen im System so gut identifiziert werden können, dass dieses sehr ansprechende Ergebnis erreicht werden kann.

Probleme bei der indirekten MIMO CLI

Wenn ein MIMO-System identifiziert wird ist davon auszugehen, dass G_1 und G_4 dominante Übertragungsfunktionen darstellen die jeweils ca. 80% der Ausgangsverläufe erzeugen. Die restlichen 20% werden dann jeweils von den beiden anderen Übertragungsfunktionen G_2 und G_3 generiert.

Durch diese Dominanz von G_1 und G_4 die sich bei den Closed Loop Übertragungsfunktionen noch wesentlich stärker auswirkt kann es dazu kommen, dass für die identifizierten Übertragungsfunktionen G_{3ges} und G_{2ges} falsche Parameter ermittelt werden. Da G_{1ges} und G_{4ges} aber so dominant sind führt das dazu, dass das bei der Validation nicht auffällt und daher auch nicht klar ist, ob ein Fehler entsteht und wie groß dieser werden kann.

Da beim Herausrechnen der Reglerparameter die Übertragungsfunktionen G_{2ges} und G_{3ges} stark in das Ergebnis von G_1 bis G_4 mit eingehen entsteht so bei allen zu ermittelnden Übertragungsfunktionen eine unterschiedlich große Abweichung vom Original der bei allen weiteren Auswertungen berücksichtigt werden muss, wie anhand der Grafik die mithilfe einer Simulationsstudie erzeugt wurde gut zu erkennen ist.



Resümee

• Es lässt sich feststellen, dass der MIMO MPC hinsichtlich des Trackings und der vier eingeführten Kriterien bessere Ergebnisse als der optimierte Stabilisationsregler liefert.

• Diese Verbesserungen sind vor allem auf die CLI zurückzuführen, da selbst der beste MPC Entwurf ohne geeignetes Modell der Strecke versagt.

• Die Kombination aus CLI und MPC ist sehr gut für instabile beschränkte Systeme wie den Helikopter geeignet.

Ausblick

• Verbesserungspotential besteht vor allem bei der MIMO CLI
 Es könnte zum Beispiel eine andere Regelkreisstruktur oder ein anderer Ansatz der nicht von der SISO CLI ausgeht, gewählt werden.

• Da es sich um ein nicht lineares Helikoptermodell handelt, sind auch nichtlineare Ansätze für die CLI und den MPC-Entwurf denkbar.