

Inhalt

- 1. Aufgabe.....1
- 2. Größen, Einheiten, Definitionen.....1
- 3. Grundlagen.....2
 - 3.1. Prozess - Überwachung.....2
 - 3.2. Statische Signalüberwachung.....3
 - 3.3. Dynamische Signalüberwachung.....4
 - 3.4. Modell gestützte Überwachung.....5
 - 3.5. Parameter gestützte Überwachung.....6
 - 3.6. Emissions gestützte Überwachung.....7
 - 3.7. Die J-BCASE Versuchsumgebung.....7
- 4. Versuchsvorbereitung.....8
 - 4.1. Versuchsbedingungen.....8
 - 4.2. Versuchsprotokoll.....9
- 5. Versuchsdurchführung.....10
 - 5.1. Stationäre Bilanzierung.....10
 - 5.2. Instationäre Bilanzierung.....11
 - 5.3. Fehler-Diagnose.....12
- 6. Versuchsauswertung.....14

Contents

- Scope.....1
- Variables, units, definitions.....1
- Basics.....2
 - Process Monitoring (Supervision).....2
 - Steady signal monitoring3
 - Dynamic signal monitoring4
 - Model based monitoring5
 - Parameter based monitoring6
 - Emission based monitoring7
 - The J-BCASE Test-Environment.....7
- Exercise preparation.....8
 - Exercise conditions.....8
 - Exercise protocol.....9
- Exercise performance.....10
 - Steady Balancing.....10
 - Unsteady Balancing.....11
 - Fault Diagnosis.....12
- Exercise evaluation.....14

1. Aufgabe

Die Aufgabe des Laborversuchs "Prozess-Überwachung" besteht im Kennenlernen und praktischen Erproben einfacher Überwachungs- und Diagnose-Strategien. Die dabei gewählten Beispiele und Aufgabenstellungen wurden bewusst einfach gehalten, um einen gewissen Grad von Vollständigkeit hierbei erzielen zu können.

Scope

The aim of the exercise 'process monitoring' is to get knowledge and experience in simple supervision and diagnosis methods. The chosen examples and exercise targets have their focus on simplicity and as well on completeness.

2. Größen, Einheiten, Definitionen

Variables, units, definitions

Dargestellte Größe	Zeichen mark	Einheit unit	variable usage
Anzahl der Simulationsschritte	Nstep	-	number of simulation steps
Residuum (Vektor)	\underline{R}		residuum (vector)
Simulationsschrittweite	T_s	s	simulation step size
Anregungsgröße (Vektor)	\underline{U}		stimulating variable (vector)
Prozesszustand (Vektor)	\underline{X}		process state (vector)
Störgröße (Vektor)	\underline{Z}		disturbance variable (vector)

3. Grundlagen

Im Folgenden werden nochmals kurz die notwendigen Grundlagen zur Bearbeitung des Laborversuchs dargestellt, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann. Bedingt durch den begrenzten Umfang einer Versuchsbeschreibung muss teilweise auf eine vertiefte Darstellungen verzichtet werden, sofern sie nicht unbedingt zur Bearbeitung notwendig ist.

Es sei hierfür auf die einschlägige Literatur oder maßgebliche Vorlesungsunterlagen verwiesen.

3.1. Prozess - Überwachung

Da der Begriff „Überwachung“, wie auch der der Prozess-Überwachung, sehr allgemein und viel genutzt wird, wollen wir diesen für uns zunächst präzisieren und damit auch einschränken.

Der uns hier interessierende Bereich befasst sich mit der Überwachung des Prozessverhaltens durch Überwachung bzw. Auswertung von Signalen. Man spricht in diesem Zusammenhang dann auch von **signalgestützter Überwachung**. Die Überwachung technischer Prozesse bildet neben der richtigen Auslegung die Grundlage eines sicheren Betriebs, wobei sich dies nicht nur auf Menschen und Anlagen, sondern auch auf die Umwelt bezieht.

Wird das Prozessverhalten durch Fehler gestört, so sind diese zunächst einmal möglichst schnell und sicher zu erkennen (**Fehlererkennung**) und:

- bei zu tolerierenden Fehlern ist ggf. nur eine Warnung oder Meldung anzuzeigen und zu protokollieren
- bei zeitweise korrigierbaren Fehlern ist ein Ersatzwert bereitzustellen (**Fehlerkorrektur**)
- bei nicht zu tolerierenden Fehlern sind neben einem sofortigen Eingreifen auch nähere Hinweise über den möglichen Fehlerort oder die Fehlerart (**Fehlerdiagnose**) zu ermitteln.
- bei sicherheitsrelevanten Fehlern sind sofortige **Notmaßnahmen** einzuleiten.

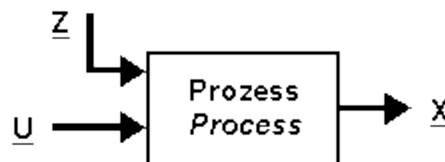


Abb./Fig. 3.1: Die signalgestützte Prozessbeschreibung.
The signal-based process description.

Basics

In the following we will summarize the basic topics which are necessary to workout this lab exercise. Due to the limited size of this lab documentation we disclaim deeper representations if it is not absolutely necessary for the handling.

In case of further interest, please refer to other lecture notes or external literature on system control techniques.

Process Monitoring (Supervision)

Since the concept "supervision" like also that one of the process supervision is very general used, we want at first to render more precisely and thus limiting for us.

The area we are interested in deals with the supervision of the process behavior by supervision or evaluation of signals. In connection with this, one talks about signal based supervision, too. The supervision of technical processes forms the basis of a safe operation where this focuses not only to people or plants but also to the environment.

The process behavior is disturbed by errors then first of all is to recognize the existence (**fault detection**) and:

- at errors to be tolerated, a warning or report should be displayed if necessary
- at at times correctable errors an alternative value has to be provided (**fault correction**)
- at errors to be not tolerated, immediate actions should take place and deeper information about the type of should be investigated (**fault diagnosis**)
- at security relevant errors immediate **emergency actions** have to be initialized.

Für die signalgestützte Überwachung wollen wir dann für den Prozess die in Abb. 3.1 dargestellte Struktur mit den Anregungsgrößen \underline{U} , den Störgrößen \underline{Z} und den Prozesszuständen \underline{X} verstehen.

Wir haben hierbei als Bezeichnung für die Anregungsgrößen U und nicht Y verwendet, da diese neben den Stellgrößen Y beispielsweise auch Sollwerte W umfassen können. Bei der Überwachung ist der Prozess nicht, oder nur höchst selten, mit einer Regelstrecke gleichzusetzen, sondern umfasst wesentlich mehr, wie etwa auch Regel und Steuereinrichtungen.

Wichtig ist noch anzumerken, dass die Störgrößen Z als nicht bekannte und nicht messbare Größen natürlich auch die möglichen Fehlerursachen enthalten, die man sich als unvorhersehbare Einzelstörungen vorstellen kann.

Ausgehend hiervon gibt es nun je nach Anwendung und betriebenem Aufwand die unterschiedlichsten Methoden zur Überwachung, Korrektur und Diagnose, die wir nachfolgend kurz ansprechen wollen.

For the signal based supervision we then refer for the process the structure in Fig. 3.1 with the stimulating variables \underline{U} , the disturbance variables \underline{Z} and the process states \underline{X} .

We have used U and not Y as an expression for the stimulating variable since this also can contain set points W besides the manipulating variables Y , for example. At the supervision the process has not or only highly seldom, to be equated to a controlled system, but fundamentally more as accompanied by control facilities.

It still has to be importantly said that of course the disturbance variables Z as not known and not measurable variables also contain the possible fault causes which one can imagine as unforeseeable individual disturbances.

Starting out from it there are the various different methods used for the supervision, correction and diagnosis which we want to mention in brief.

3.2. Statische Signalüberwachung

Die Funktionsweise der einfachsten und am weitesten verbreiteten Verfahren zur Überwachung von Prozessen oder besser von Prozesssignalen kann man als statische Signalüberwachung bezeichnen, wie dies in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

Steady signal monitoring

The functioning of the most simple and mostly used methods for process supervision or better process signals can be described as steady signal supervision as represented in the following illustration.

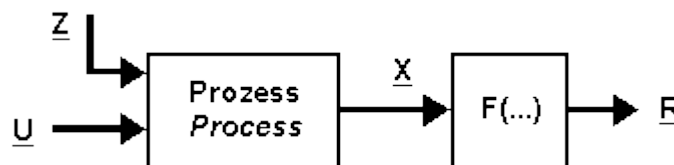


Abb./Fig. 3.2: Die statische Überwachungs-Struktur.
The steady monitoring structure.

Hierbei werden die Prozesszustände \underline{X} , als Summe aller verfügbarer Messsignale über eine eindeutige Funktion F

Becoming the process states X as sum of all available measuring signals mapped to the Residuum R

$$\underline{R} = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

auf die Residuen \underline{R} abgebildet. Da diese Abbildung nicht von der Zeit abhängt, kann man sie als statische Abbildung bezeichnen.

about a clear function F . Since this mapping doesn't depend on the time, one can describe her as a steady mapping or relation.

Die ermittelten Residuen können nun entweder direkt Fehler-Indikatoren sein oder aber nur ein Fehlersignal, das durch geeignete Kriterien (etwa Grenzwerte, Vorzeichen, ...) noch auszuwerten ist.

Either the Residuum found out can be used directly as fault indicators or only as a fault signal to be evaluated by suitable criteria (e.g. limiting values, value sign, ...) later on.

Beispiele solcher Verfahren sind etwa:

- Übertragungsfehler (*Fühlerbruch, Paritätsfehler, Zeitverzug, Sensor ohne Reaktion, ...*)
- Wandlungsfehler (*Fremdspannung, Kurzschluss, ...*)
- Grenzwertverletzung (*Plausibilität eines Signals*)
- Grenzwertverletzung einer Signalkombination (*statische Bilanzierung, ...*)
- Plausibilitätsverletzung von Signalgruppen (*wenn dieses ...dann darf nur ...*)
- Hardware-Voting bei redundanten Signalen (*1 aus 2, 1 aus 3, ...*)

Examples of such procedures are for instance:

- Transmitting error (*sensor break, parity error, time delay, sensor without reaction, ...*)
- Conversion error (*unweighted noise voltage, short circuit, ...*)
- Limiting value injury (*plausibility of a signal*)
- Limiting value injury of a signal combination (*static balancing, ...*)
- Plausibility injury of signal groups (*if this then only may that ...*)
- Hardware Voting at redundant signals (*1 from 2, 1 from 3 ...*)

3.3. Dynamische Signalüberwachung

Eine erheblich erweiterte Funktionsweise erlauben Methoden der dynamischen Signalüberwachung, wie strukturell in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

Dynamic signal monitoring

A much more enhanced capability is possible with methods of dynamic signal monitoring as represented structurally in the following illustration.

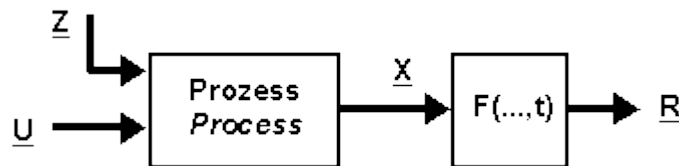


Abb./Fig. 3.3: Die dynamische Überwachungs-Struktur.
The dynamic monitoring structure.

Der zunächst nur unscheinbare Unterschied zu statischen Verfahren liegt in der Abbildungsfunktion F, die nun zusätzlich die Abhängigkeit von der Zeit berücksichtigt.

The at first only inconspicuous difference to static procedures lies in the mapping function F which now in addition takes into account the dependence of the time.

$$R = F(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (3.2)$$

Hierdurch können nicht nur die momentanen Prozesszustände überwacht werden, sondern auch ihre zeitlichen Verläufe. Damit ist sowohl eine Bewertung der Vergangenheit (*Filterung*) als auch Prädiktion von Erwartungen (*Gradientenbildung*) möglich.

Not only the short-term process states can be supervised through this but also her temporal courses. Both an assessment of the past (*filtration*) and prediction of expectations (*gradient evaluation*) are possible with that.

Beispiele solcher Verfahren sind etwa:

- Grenzwertverletzung (*Gradientenbildung eines Signals, ...*)
- Grenzwertverletzung einer Signalkombination (*zeitlich gemittelte Bilanzierung, ...*)
- Überwachung statistischer Kennwerte (*Mittelwert, Varianz, Korrelationen, ...*)
- Überwachung der Frequenzcharakteristik (*FFT, ...*)

Examples of such procedures are for instance:

- Limiting value injury (*gradient evaluation from a signal, ...*)
- Limiting value injury of a signal combination (*averaged balance due to time, ...*)
- Supervision of statistical characteristics (*mean value, variance, correlations, ...*)
- Supervision of the frequency characteristics (*FFT, ...*)

3.4. Modell gestützte Überwachung

Die Grundidee der Modell gestützten Überwachung liegt darin, zusätzliches Wissen über die Struktur und das Verhalten des Prozesses mit in die Überwachung mit einzubeziehen. Dieses Mehr an Information, lässt auf bessere Resultate (*schnellere Erkennung, empfindlicher Erkennung, mögliche Korrektur und dediziertere Diagnosen*) der Überwachung hoffen, wobei dieses Mehr natürlich mit einem Mehr an Aufwand verbunden ist.

Der Ansatz mit dem „Gut“-Modell:

Hierbei stellen wir dem realen Prozess (*mit seinem Zustandsverhalten*) eine Referenz in Form eines Modells zur Seite, um aus den auftretenden Abweichungen zwischen realem Verhalten und zu erwartendem fehlerfreiem Verhalten auf einen möglichen Fehler im Prozess schließen zu können.

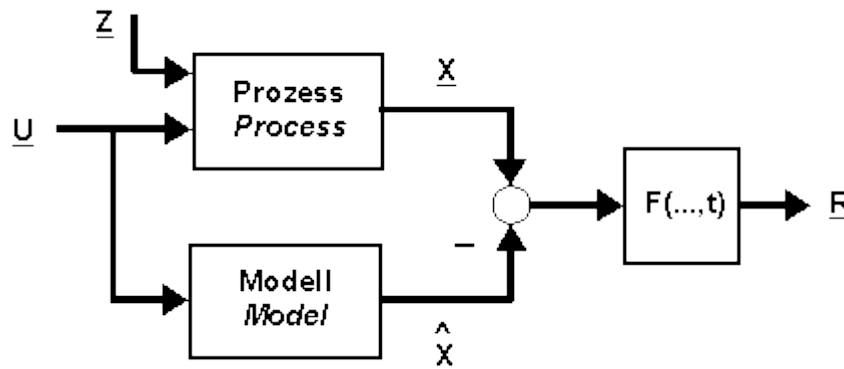


Abb./Fig. 3.4: Die „Gut“-Modell gestützte Überwachungs-Struktur.
The “well”-model based monitoring structure.

Ein weitergehender Vorteil dieses Ansatzes ist darin zu sehen, dass man nicht nur Fehlererkennung betreiben kann, sondern auch einen Sensorfehler zeitlich begrenzt korrigiert werden kann. Für diese Zeit ist dann allerdings die Fehlererkennung eingeschränkt oder sogar ausgeschaltet.

Der Ansatz mit den „Fehler“-Modellen:

Hierbei stellen wir dem realen Prozess (*mit seinem Zustandsverhalten*) mehrere Referenzen in Form von Modellen zur Seite, wobei jedes Modell von einer anderen Fehlerfall-Annahme ausgeht. Ermittelt man die Referenz, die am besten mit dem momentanen Prozessverhalten übereinstimmt, so wird der dort angenommene Fehler wohl auch im realen Prozess aufgetreten sein.

Model based monitoring

Basic idea of the model based monitoring is to include additional knowledge about the structure and the behavior of the process to be monitored. This increase of information lets hope for better results (*faster detection, better sensitivity, possible correction and more dedicated diagnoses*) of the supervision which cooperates with an increase of effort unfortunately.

The “well”-model approach:

We make the real process a reference (*with his state behavior*) in form of a model aside to be able to infer from the occurring differences between real behavior and expected fault-free behavior to reason for a possible error in the process.

A further-reaching advantage of this approach is besides the fault detection the possibility to generate alternative values for a sensor signal in case of a sensor error. This is naturally limited to short time durations cause fault detection cannot operate during these conditions.

The “fault”-model approach:

Herein we make the real process several references (*with his state behavior*) in the form of models aside in which every model realizes another case of error appearance. If one finds the reference which agrees best with the short-term process behavior, then the error adopted there will have occurred also in the real process well.

Um eine bessere Aussage darüber zu erhalten, ob überhaupt ein Fehler vorliegt, sollte man als Referenz zusätzlich ein fehlerfreies Modell berücksichtigen, da sich dadurch die Entscheidungsfindung vereinfacht und robuster gestaltet.

Get around a better statement about this, whether there is at all an error, one should take in addition a fault-free model as a reference since the decision making simplifies and turns out more robust through this.

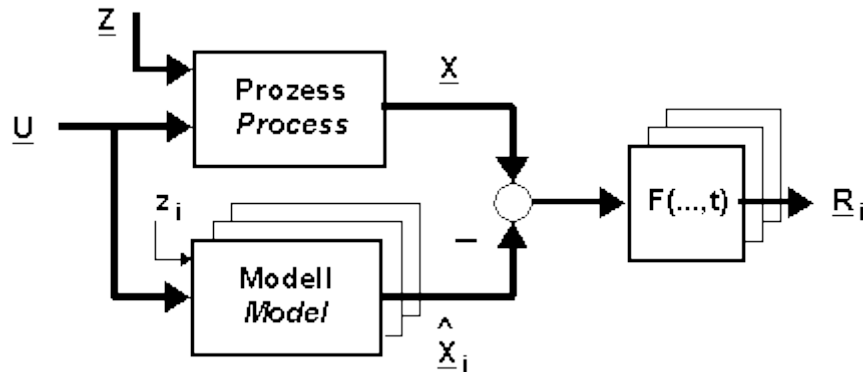


Abb./Fig. 3.5: Die „Fehler“-Modell gestützte Überwachungs-Struktur.
The “-”-model based monitoring structure.

Wesentlicher Vorteil dieses meist umfangreicheren Ansatzes ist darin zu sehen, dass neben der Fehlererkennung und ggf. -Korrektur auch eine Fehlerdiagnose möglich ist. Dies ist insbesondere dann von wirtschaftlichem Interesse, wenn der Betrieb bei bestimmten Fehlern nicht unbedingt unterbrochen werden muss, ja sich manche Fehler lediglich als Wartungsfälle herausstellen.

It is an essential advantage of this mostly more extensive approach to see that an error diagnosis is also possible besides the fault detection and if necessary correction in it. This is particularly of economic interest when production doesn't have to be interrupted absolutely at certain errors, some errors merely turn out to be only maintenance cases.

3.5. Parameter gestützte Überwachung Parameter based monitoring

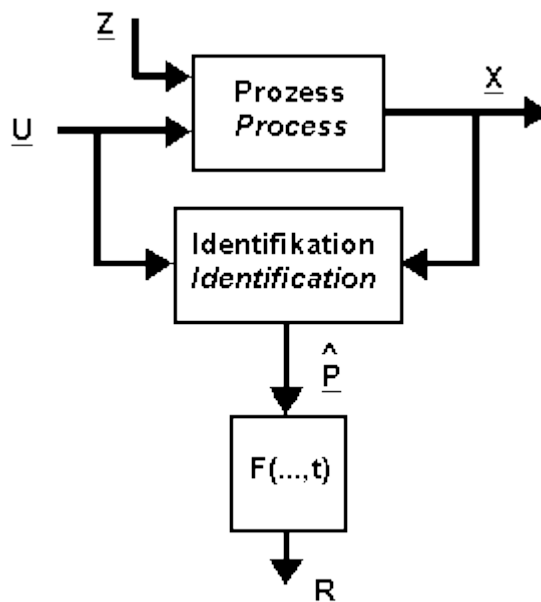


Abb./Fig. 3.6: Die Parameter gestützte Überwachungs-Struktur.
The parameter based monitoring structure.

Erfordern die Modell gestützten Methoden eine zumeist theoretisch ermittelte Modellbildung (*teure Ingenieurleistung*), so versucht der hier dargestellte Ansatz (Abb. 3.6) darauf möglichst zu verzichten.

Require the model based methods mostly a theoretically modeling (*expensive engineering effort*) then the approach represented here in Fig. 3.6 can do without this if possible.

Es wird dabei versucht, durch gängige Verfahren der parametrischen oder nicht parametrischen Identifikation ein Modell zu ermitteln, das das Ein- Ausgangsverhalten des Prozesses möglichst gut beschreibt. Aus den für dieses Modell ermittelten Kennwerten \underline{P} bzw. ihren Veränderungen will man auf das Vorhandensein von Fehlern im Prozess schließen und diese ggf. diagnostizieren.

Setzt man keinerlei theoretisches Wissen über den Prozess voraus (**black-box Ansatz**), so könnte man durch verschiedene im Prozess absichtlich herbeigeführte Fehler im Experiment die Veränderungen in den Kennwerten ermitteln und dies dann zur späteren Erkennung und Diagnose verwenden.

Wo dies nicht möglich oder gewollt ist, muss ein gewisses theoretisches Vorwissen über den Prozess eingebracht werden, was man dann mit **gray-box Ansatz** bezeichnet.

It is tried by common procedures of parametric or not parametric identification to find out a model which describes the input/output behavior of the process as well as possible. Out of those characteristics \underline{P} found, one determines for this model or her changes on the existence of errors in the process and tries to diagnose them more precisely.

If one presupposes no theoretical knowledge about the process (**black-box approach**), then one could find out the changes to the identification values due to several experimental failures to use this knowledge for later fault detection and diagnosis purposes..

Where this isn't possible or wanted, a certain theoretical pre-knowledge about the process must be brought in what is then called a **gray-box approach**.

3.6. Emissions gestützte Überwachung

Die Emissions gestützte Überwachung ist sicherlich ein Randbereich, der aber zunehmend von Interesse ist. Basis ist nicht die Erfassung von physikalischen Größen, die das ursächliche Prozessverhalten widerspiegeln, sondern eher Symptom bezogene Sensoren, wie etwa Gassonden, Vibrationsensoren oder Schallsensoren. Diese Sensoren zeigen direkt oder erst durch eine Auswertung mögliche Veränderungen im Prozess an, die durch einen Fehler verursacht sein können. Beispielsweise können Unwuchten in rotierenden Maschinen durch eine veränderte Schallabstrahlung erkannt werden aber auch durch Sensoren im Fundament erkannt werden.

Die meist zeitkritische Auswertung der Messsignale erfordert neben erhöhtem Verarbeitungsaufwand auch ein hohes Maß an methodischem Rüstzeug, wie etwa Mustererkennungsverfahren und ist daher dem gehobenen Anwendungsbereich zuzuordnen.

Emission based monitoring

The emission based monitoring is surely an edge area which is, however, of increasing interest. Not the recording of physical variables which reflect the causal process behavior but rather symptom oriented sensors are obtained, such as gas probes, vibration sensors or acoustic sensors. These sensors display directly or after some evaluations a possible change in the process which can be caused by an error.

For example a mechanical unbalance can be recognized by a changed sound irradiation but also be recognized by sensors in the ground of rotating engines.

The mostly time-critical evaluation of the measuring signals also requires a high degree of methodical as capacity, such as pattern recognition procedure and therefore has to be assigned to the more advanced application technologies with increased processing overhead.

3.7. Die J-BCASE Versuchsumgebung

Hierzu sei auf den Versuch „Schaltende Regelung“ verwiesen, in dem bereits die J-BASE Umgebung, als auch deren Bedienung, ausführlich beschrieben wurde.

The J-BCASE Test-Environment

For this, reference is given to the lab experiment “switching control”, where detailed descriptions of the J-BCASE environment as well as its operating interface can be found.

4. Versuchsvorbereitung

Bevor wir uns auf die einzelnen Versuche stürzen, seien hier zunächst die Versuchsgegebenheiten etwas näher beschrieben, insbesondere die Dynamik der Regelstrecke

Darüber hinaus wird ein Vorschlag beschrieben, wie die Versuchsergebnisse geeignet zu dokumentieren sind und auf was man dabei achten sollte.

4.1. Versuchsbedingungen

Für die Erprobung verschiedener Überwachungsverfahren verwenden wir die dargestellte dreistufige Becken-Kaskade, die im geregelten Betrieb (Regelgröße Q_a , Stellgröße Q_e) an unterschiedlichen Stellen mit künstlichen Fehlern versehen werden kann.

Exercise preparation

Before we go into detail with the several test equipments, here the attempt conditions are somewhat closer described, in particular the dynamic used for our experimental process.

Beyond that a suggestion is described, how the test results can be documented suitably and hints are given on which one should be payed attention.

Exercise conditions

We use the represented three-stage basin cascade for the proofing of different supervision procedures which can be provided with artificial errors in the in the controlled process (control variable Q_a , manipulating variable Q_e) in different places.

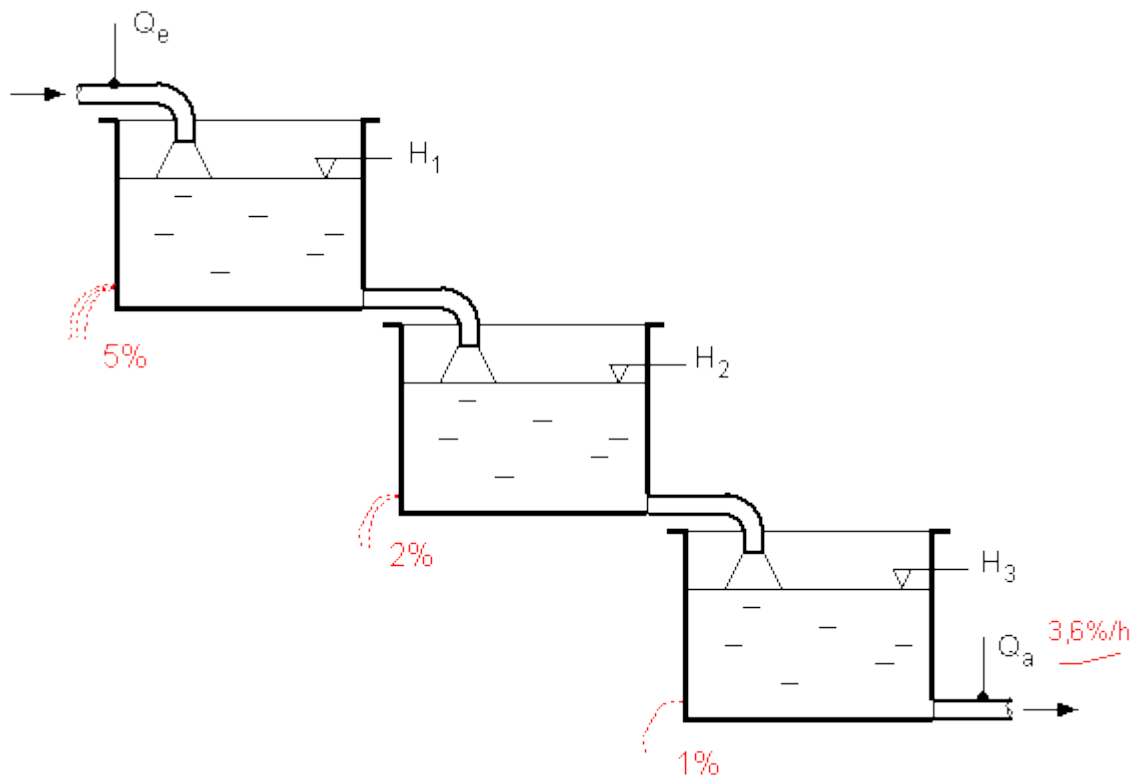


Abb./Fig. 4.1: Die dreistufige Becken-Kaskade und die simulierbaren Fehler.
The three-stage basin-cascade with the possible scenarios.

Es können einerseits unterschiedlich große Fehler (*Leakage-Volumenstrom*), wie auch an unterschiedlichen Orten der Anlage erzeugt werden. Hierdurch sind nicht nur Aussagen zur Fehlererkennung und ihrer Empfindlichkeit möglich, sondern auch über den Fehlerort (*Diagnose*). Schließlich ist neben einem Fehler im Prozess auch ein Drift-Fehler für den Regelgrößen-Sensor vortäuschbar, deren Einfluss auf die Überwachung ebenfalls geprüft werden kann.

It is possible to realize different big errors (*leakage volume flow*) and these also at different locations. Through this not only conclusion about sensitivity but also about diagnosis (*leakage location*) are possible to find out. Finally a drift error of the control variable sensor is realizable to examine its influence on the supervision process too.

Die Versuchsanordnung wird wiederum als Simulation mit dem Programm BCASE-D durchgeführt, wobei für die Modellbildung des Volumenstrom-Verhaltens auf den Versuch „Stetige Regelung“ verwiesen sei und an dieser Stelle nicht weiter vertieft wird. Auch die Regelung durch einen PID-Regler und dessen Einstellung sind bereits erledigt und nicht Gegenstand dieses Versuchs, um uns ausschließlich auf den Überwachungs-Anteil konzentrieren zu können.

Anmerkung: Selbstverständlich können die vorhandenen Simulationsbeispiele auch für eigene Überlegungen und Versuche benutzt und modifiziert werden. Insbesondere der Reglerentwurf ist bei dieser Regelstrecke schon etwas schwieriger durch die drei Speicher bedingt.

4.2. Versuchsprotokoll

Das Versuchsprotokoll stellt die Basis des später zu erstellenden Versuchsberichts dar und ist eine Mitschrift über Randbedingungen und Ergebnisse mehrerer Teilversuche.

Da die Versuche am Rechner durchgeführt werden, empfiehlt sich das zu verwendende Textprogramm für das Protokoll parallel auszuführen, um eine aktuelle Mitschrift des Versuchsablaufs zu gewährleisten. Einige Angabe kann man auch direkt mittels Cut/Paste aus der Versuchsvorschrift übernehmen, ergänzen oder auf die besonderen Bedürfnisse anpassen. Versuchsergebnisse (z.B.: Grafiken) lassen sich am besten per Hardcopy in das Textprogramm übernehmen, indem man sie auf die interessierenden Bereiche zuschneidet und ggf. mit Text ergänzt.

The test environment in turn is executed as a simulation with the program BCASE-D, how for the modeling of the volume flow behavior reference is made to the former experiment "Steady Control" and so no deeper view is done in this place. The process control by a PID controller and its setting are already done and not object of this attempt to be able to concentrate exclusively on the supervision quota, too.

Remarks: The existing simulation examples can of course be used and modified also for own considerations and tests. Particularly the control design is a little more difficult already caused by the three storages at this controlled system.

Exercise protocol

The exercise protocol represents the logging of several test conditions and test results will be the basis for the later on written lab-practice report.

Since the experiments are handled at the computer it's recommended to start your text program in parallel to simply switchover between testing and logging. Some one can take over specifications out of this practice documentation or results by cut and paste function using the clipboard of the computer. Graphic results, like signal charts a applet, can be easily copied by hard-copy function of the computer and fitting them to interested areas by the text program or a individual graphic program.

5. Versuchsdurchführung

5.1. Stationäre Bilanzierung

Gegeben ist die Versuchsanordnungen nach Abb. 4.1 der dreistufige Becken-Kaskade, deren Ausgangsvolumenstrom Q_a mit einem stetigen Regler, bei zeitlich sich ändernden Sollwerten, geregelt wird. Als Stellgröße dient der Zulauf-Volumenstrom Q_e . Die Anlage ist auf ungewollte Flüssigkeitsverluste (Leckagen) hin zu überwachen.



Exercise performance

Steady Balancing

Given is the test environment according Fig. 4.1 of a three-stage basin-cascade, whose outlet volume flow Q_a is to be controlled by a steady PID controller with varying set point by time. The inlet flow Q_e is used as manipulated variable. The aim of supervision is to detect leakages in the basins.

BCASE-D Setup:

- ▶ Zum Laden der Versuchsumgebung klicke man im „Experiments“-Bereich zunächst auf J-BCASE, um die Framework-Seite zu starten. Von diesem aus starte man das Simulationsprogramm BCASE-D und das Darstellungsprogramm BCASE-P.
- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Process Monitoring A“. Da die Umgebung etwas komplexer und größer ist, ziehe man das Darstellungsfenster auf eine ausreichende Größe auf. Wir erkennen den Regelkreis mit dem stetigen PID-Regler und die Regelstrecke (PROCESS) als unterlagertem Teilsystem (*betreten mit Rechts-Klick, verlassen mit ESC*). Weiterhin sind die beiden oberen SIGCHART-Blöcke erkennbar, die die Prozess-Signale darstellen. Der „Gain“-Block dient der Einstellung des gewünschten Fehlerfalls (*momentan noch ohne Fehler*) und der zugehörige „Step“-Block initiiert diesen nach jeweils 2000s. Im unteren Teil ist die Überwachung mit der stationären Bilanzierung ($Q_a - Q_e$) und ihre Filterung über ein Verzögerungsglied 1.Ordnung (PT1) realisiert, wobei ihre Ergebnisse im unteren „SIGCHART“-Block dargestellt werden, als auch mit dem vcl5-Block in der Datei vcl5.xml gespeichert werden, um sie dann mit BCASE-P genauer anzuzeigen.
- ▶ Über den Menüpunkt „Sim/Debug-->Setup...“ stelle man die Schrittweite $T_s = 12s$ und die Anzahl der Simulationsschritte $N_{step} = 400$ ein.

BCASE-D Setup:

- ▶ To load the test environment just click on the J-BCASE link in the “Experiments” section, to get the desired framework page. From there start the simulation program BCASE-D and the signal representation program BCASE-P.
- ▶ We get the needed test environment via the menu “File-->Examples-->Process Monitoring A”. Cause the design is more complex and needs more space for display, just enlarge the window size up to a pleasant amount. We recognize there the control system with the steady PID-controller and the controlled system (PROCESS) as an underlying subsystem (*enter with right click, exit with ESC*). Furthermore the upper both SIGCHART blocks are recognizable which can represent the signal courses of the process. The Gain block is used to set the class (*no at the moment*) and in conjunction the Step block initiates this failuer after 2000s. The supervision by steady balancing is situated in the lower part with ($Q_a - Q_e$) and its filtered signal, which is done by a 1st order low pass filter (PT1). These results are represented in the lower SIGCHART block as well as stored into the file vcl5.xml by the vcl5- block for detailed representation by the BCASE-P program afterwards.
- ▶ Via the menu “Sim/Debug-->Setup...” we've to set the simulation step size $T_s = 12s$ and the number of simulation steps $N_{step} = 400$.

Versuchsläufe:

- ▶ Es ist zunächst der fehlerfreie Betrieb ($I_{\text{error}}=0$) als Referenz zu untersuchen, indem die Simulation mit der Menüfunktion „Sim/Debug-->Simulate“ gestartet wird. Man erkennt das Betriebsverhalten des geregelten Prozesses für die rampenförmigen Änderungen des Sollwertes (Q_{e_soll}), sowie die sich ändernden Füllstände (H_1, H_2, H_3). Man sieht dass die Messsignale gestört sind, wobei die Störungen der Füllstände durch Wellenbildung etwas größer sind als bei den Volumenströmen. Das Verhalten der Bilanzierung dokumentiere man mit BCASE-P, wobei die Fenstergröße durchaus kleiner gewählt werden kann, um vier Darstellungen auf einer Seite platzieren zu können.
- ▶ Man wiederhole dies nochmals für die drei Fehlerfällen ($I_{\text{error}}=1, I_{\text{error}}=2$ und $I_{\text{error}}=3$).

Experimental tests:

- ▶ At first the fault-free operation ($I_{\text{error}} = 0$) is to be examined by invoking the simulation with the menu function "Sim/Debug-->Simulate". One recognizes the operation behavior of the controlled process for the ramp-wise changes of the set point (Q_{e_soll}) as well as the changing filling levels (H_1, H_2, H_3). One sees that the measuring signals are disturbed in which the disturbances of the filling levels are a little bigger than at the volume flow cause of fluid-waves. One documents the behavior of the balancing course with BCASE-P in which the windows width should be chosen more small to be able to put four representations on a page.
- ▶ One should repeat the examination for the three fault situations ($I_{\text{error}}=1, I_{\text{error}}=2$ und $I_{\text{error}}=3$).

5.2. Instationäre Bilanzierung

Mit einer modifizierten Versuchsanordnungen ist die Anlage mit einem Modell basierten Ansatz auf ungewollte Flüssigkeitsverluste (Leckagen) hin zu überwachen.

Unsteady Balancing

With a modified test environment the process will be supervised by a model based approach for leakages in the basins.



BCASE-D Setup:

- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Process Monitoring B“. Da die Umgebung etwas komplexer und größer ist, ziehe man das Darstellungsfenster auf eine ausreichende Größe auf. Wir erkennen neben dem bisherigen Regelkreis das parallel geschaltete Prozessmodell, das mit dem bekannten Zulauf-Volumenstrom Q_e den Abfluss-Volumenstrom (Q_a^{\wedge}) und die drei Füllstände ($H_1^{\wedge}, H_2^{\wedge}, H_3^{\wedge}$) ermittelt, die sich im fehlerfreien Fall einstellen sollten. Der obere SIGCHART-Block zeigt dann das Betriebsverhalten des Prozesses, während der mittlere Block den tatsächlichen und erwarteten Abfluss-Volumenstrom darstellen.

BCASE-D Setup:

- ▶ We get the needed test environment via the menu "File-->Examples-->Process Monitoring B". Cause the design is more complex and needs more space for display, just enlarge the window size up to a pleasant amount. Besides the well known control system we recognize the process model in parallel, which determines out of the known inlet flow Q_e the outlet volume flow (Q_a^{\wedge}) and the three filling levels ($H_1^{\wedge}, H_2^{\wedge}, H_3^{\wedge}$) that are expected under free conditions. The upper SIGCHART block represents the process behavior and the middle one the process outlet flow and the expected outlet flow determined by the model.

Im unteren Teil ist die Überwachung mit der dynamisch korrigierten Bilanzierung ($Q_a - Q_a^\wedge$) und ihre Filterung realisiert, wobei ihre Ergebnisse im unteren „SIGCHART“-Block dargestellt werden, als auch mit dem vcl5-Block in der Datei vcl5.xml gespeichert werden, um sie dann mit BCASE-P genauer anzuzeigen.

- ▶ Die Einstellungen für die Schrittweite und die Anzahl der Simulationsschritte bleibt unverändert.

Versuchsläufe:

- ▶ Es ist zunächst der fehlerfreie Betrieb ($I_{\text{error}} = 0$) als Referenz zu untersuchen, indem die Simulation mit der Menüfunktion „Sim/Debug-->Simulate“) gestartet wird. Man erkennt die sehr gute Übereinstimmung zwischen Prozess- und Modellverhalten im fehlerfreien Fall, was angesichts der Tatsache, dass wir den Prozess nur simulieren, gegenüber der Realität natürlich zu positiv aussieht. Das Verhalten der Bilanzierung dokumentiere man mit BCASE-P, wobei die Fenstergröße durchaus kleiner gewählt werden kann, um vier Darstellungen auf einer Seite platzieren zu können.
- ▶ Man wiederhole dies nochmals für die drei Fehlerfällen ($I_{\text{error}} = 1$, $I_{\text{error}} = 2$ und $I_{\text{error}} = 3$).

5.3. Fehler-Diagnose

Mit einer modifizierten Versuchsanordnungen ist neben dem Modell basierten Ansatz zur Fehlerüberwachung auch die Fehlerdiagnose zu untersuchen, die im Fehlerfall auf den betroffenen Behälter schließen lässt.

The supervision by dynamical compensated balancing is situated in the lower part with ($Q_a - Q_a^\wedge$) and its filtered signal. These results are represented in the lower SIGCHART block as well as stored into the file vcl5.xml by the vcl5- block for detailed representation by the BCASE-P program afterwards.

- ▶ The settings of the simulation step size and the number of simulation steps is unchanged.

Experimental tests:

- ▶ At first the fault-free operation ($I_{\text{error}} = 0$) is to be examined by invoking the simulation with the menu function "Sim/Debug-->Simulate". One recognizes the good agreement between process and model behavior under fault-free conditions. This is quite logical due to the fact that the process itself is simulated and not real, so results will be slightly too optimistic. One documents the behavior of the balancing course with BCASE-P in which the windows width should be chosen more small to be able to put four representations on a page.
- ▶ One should repeat the examination for the three fault situations ($I_{\text{error}} = 1$, $I_{\text{error}} = 2$ und $I_{\text{error}} = 3$).

Fault Diagnosis

With a modified test environment besides the model based detection a fault diagnosis can be tested which should reason to the affected basin in case of a leakage.



BCASE-D Setup:

- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Process Monitoring C“. Da die Umgebung etwas komplexer und größer ist, ziehe man das Darstellungsfenster auf eine ausreichende Größe auf.

BCASE-D Setup:

- ▶ We get the needed test environment via the menu "File-->Examples-->Process Monitoring C". Cause the design is more complex and needs more space for display, just enlarge the window size up to a pleasant amount.

Wir erkennen neben dem bisherigen Regelkreis, dem parallel geschaltete Prozessmodell und der instationären Bilanzierung die zusätzlichen drei Füllstandsabweichungen ($H_1-H_1^{\wedge}$, $H_2-H_2^{\wedge}$, $H_3-H_3^{\wedge}$) in ungefilterter und gefilterter Form.

Der obere SIGCHART-Block zeigt dann das Betriebsverhalten des Prozesses, die mittleren Blöcke die Füllstandsabweichungen und im unteren Block die instationäre Bilanzierung. Die umfangreichere Speicherung der Signale erfolgt über den vcl5c-Block in der Datei vcl5c.xml gespeichert werden, um sie dann mit BCASE-P genauer anzuzeigen.

- ▶ Die Einstellungen für die Schrittweite und die Anzahl der Simulationsschritte bleibt unverändert.

Versuchsläufe:

- ▶ Es ist zunächst der fehlerfreie Betrieb ($I_{\text{error}}=0$) als Referenz zu untersuchen, indem die Simulation mit der Menüfunktion „Sim/Debug-->Simulate“) gestartet wird. Man erkennt die sehr gute Übereinstimmung zwischen Prozess- und Modellverhalten im fehlerfreien Fall, was angesichts der Tatsache, dass wir den Prozess nur simulieren, gegenüber der Realität natürlich zu positiv aussieht. Das Verhalten der Bilanzierung und der Füllstandsvergleiche dokumentiere man mit BCASE-P, wobei die Fenstergröße durchaus kleiner gewählt werden kann, um vier Darstellungen auf einer Seite platzieren zu können (*teilen sie die Signale in 4 „strip-charts“ auf und skalieren sie die Bilanzierung auf -10%...10% und die drei Füllstandsvergleiche auf -5%...5%*).
- ▶ Man wiederhole dies nochmals für die drei Fehlerfällen ($I_{\text{error}}=1$, $I_{\text{error}}=2$ und $I_{\text{error}}=3$).
- ▶ Um den Einfluss von Sensor-Fehlern zu beurteilen, wiederhole man die Simulation nochmals mit $I_{\text{error}}=4$. Hierbei wird nach 2000s beginnend eine Fehlmessung des Ausgang-Volumenstroms in Form einer Drift nachgestellt.

Besides the well known control system, the process model in parallel and the unsteady balancing, we recognize the three filling level deviations ($H_1-H_1^{\wedge}$, $H_2-H_2^{\wedge}$, $H_3-H_3^{\wedge}$) in a non filtered and filtered form.

The upper SIGCHART block represents the process behavior, the middle ones the filling level deviations and the lower one the unsteady balancing. The expanded amount of signals is stored by the vcl5c-block into the file vcl5.xml for detailed representation by the BCASE-P program afterwards.

- ▶ The settings of the simulation step size and the number of simulation steps is unchanged.

Experimental tests:

- ▶ At first the fault-free operation ($I_{\text{error}} = 0$) is to be examined by invoking the simulation with the menu function "Sim/Debug-->Simulate". One recognizes the good agreement between process and model behavior under fault-free conditions. This is quite logical due to the fact that the process itself is simulated and not real, so results will be slightly too optimistic. One documents the behavior of the balancing and the filling level difference course with BCASE-P in which the windows width should be chosen more small to be able to put four representations on a page (*split the signals into 4 strip-charts and scale them for the balancing to -10%...10% and for the three filling level differences to -5%...5%*).
- ▶ One should repeat the examination for the three fault situations ($I_{\text{error}}=1$, $I_{\text{error}}=2$ und $I_{\text{error}}=3$).
- ▶ In order to examine the influence of a sensor failure one should repeat the simulation with $I_{\text{error}}=4$. Herein a drift failure is introduced to the outlet volume flow after 2000s.

6. Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung ist eine kurz gefasste Zusammenfassung der ermittelten Ergebnisse, Auswertung und Interpretation. Als Hilfestellung sind nachfolgend stichpunktartig die notwendigen Inhalte Aufgeführt.

Zu 5.1.:

- Darstellung der vier Versuchsläufe der stationären Bilanzierung (*alle vier Diagramme auf einen Blick*)
- Um welche beiden Typen von Überwachung handelt es sich hierbei ?
- Da die beiden Signale ein Maß für den Volumenstrom-Verlust darstellen gibt die Alarmgrenze quasi eine Abschätzung darüber, welche Fehlströme gerade noch erkannt werden können. Für welche Werte würden sie sich bei den beiden Verfahren entscheiden, um möglichst frei von Fehlalarmen zu bleiben ?
- Man bewerte das unterschiedliche Verhalten der beiden Typen bzgl. der Erkennbarkeit und der Erkennungszeit (*dazu trage man die Alarmgrenzen in die Diagramme ein und ermittle die Erkennungszeit*)

Zu 5.2.:

- Darstellung der vier Versuchsläufe der instationären Bilanzierung (*alle vier Diagramme auf einen Blick*)
- Da die beiden Signale ein Maß für den Volumenstrom-Verlust darstellen gibt die Alarmgrenze quasi eine Abschätzung darüber, welche Fehlströme gerade noch erkannt werden können. Für welche Werte würden sie sich bei den beiden Formen entscheiden, um möglichst frei von Fehlalarmen zu bleiben ?
- Man bewerte das unterschiedliche Verhalten der beiden Formen bzgl. der Erkennbarkeit und der Erkennungszeit (*dazu trage man die Alarmgrenzen in die Diagramme ein und ermittle die Erkennungszeit*)
- Man vergleiche die Ergebnisse mit denen der stationären Bilanzierung

Exercise evaluation

The exercise evaluation is a brief summary of the received results, evaluations and interpretations. As a support the necessary contents are listed below.

Top 5.1:

- Representation of the four trial runs of the steady balancing (all four diagrams on a look)
- Which two types of supervision is this ?
- The two signals give virtually an estimate about the lost of volume flow, so the alarm limit is an estimate for the detectable size of failure. Indicate the alarm limits for the both signals to remain as free as possible of false alarms.
- Compare and judge the different behavior of the two different supervision forms according detectability and detection delay (*to do this add the alarm limits to the charts and find out the medium detection time*)

Top 5.2:

- Representation of the four trial runs of the unsteady balancing (all four diagrams on a look)
- The two signals give virtually an estimate about the lost of volume flow, so the alarm limit is an estimate for the detectable size of failure. Indicate the alarm limits for the both signals to remain as free as possible of false alarms.
- Compare and judge the different behavior of the two different supervision forms according detectability and detection delay (*to do this add the alarm limits to the charts and find out the medium detection time*)

Zu 5.3::

- Darstellung der vier Leckage-Versuchsläufe der instationären Bilanzierung mit Diagnose (*alle vier Diagramme auf einen Blick*)
- Leiten sie aus den Versuchen den Zusammenhang ab zwischen Leckage-Ort (*Behälter 1, 2 oder 3*) und den Füllstandsabweichungen ($H_1-H_1^{\wedge}$, $H_2-H_2^{\wedge}$, $H_3-H_3^{\wedge}$).
- Darstellung des Drift-Versuchslaufs der instationären Bilanzierung mit Diagnose
- Durch welchen Zusammenhang kann auf einen Sensorfehler für Q_a geschlossen werden ?

Abschließende Bemerkungen:

- Zusammenfassende Anmerkungen, Interpretationen und Bewertungen

Top 5.3:

- Representation of the four trial leakage runs of the unsteady balancing with diagnose (all four diagrams on a look)
- Out of the experiments one expresses the relation between the leakage position (*basin 1, 2 or 3*) and the filling level differences ($H_1-H_1^{\wedge}$, $H_2-H_2^{\wedge}$, $H_3-H_3^{\wedge}$).
- Representation of the drift trial run of the unsteady balancing with diagnose
- Which relation can be expressed to detect a sensor failure for Q_a and not a leakage ?

Final remarks:

Summarizing comments, interpretations and assessments