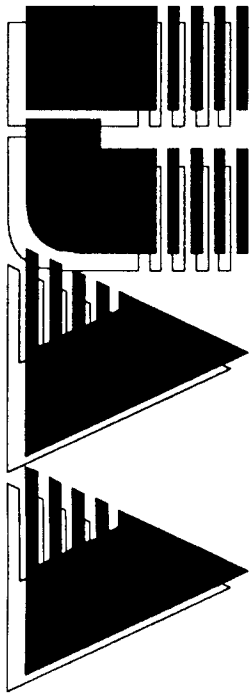
INTERNATIONAL JOURNAL

HEFT 1 Jg. 7, (1999)

AUTOMATION AUSTRIA



INHALT

	Seite
FRED MARGULIES-PREIS	**1**
FEDOROV, A.; STEFAN, T.; NOISSER, R.; WEINMANN, A. **Vermeidung und Beseitigung von Notfallsituationen mit regelungstechnischen Lösungen**	**2**
PAJAZITI; A.; KOPACEK, P. **Neural Networks for Control of Multiple Robotic Systems**	**18**
SCHLAGLICHTER	**40**
BUCHBESPRECHUNG	**44**
DISSERTATIONSKURZFASSUNGEN	**51**
VERANSTALTUNGEN	**53**

Ausschreibung

des

Fred Margulies-Preises

für Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der

Automatisierungstechnik

mit besonderer Berücksichtigung der sozialen Aspekte

Anläßlich des zehnjährigen Bestehens des IFAC-Beirates Österreich wurde von diesem zusammen mit der Gewerkschaft der Privatangestellten der Fred-Margulies-Preis ins Leben gerufen. Dieser Preis wird jährlich (1999 zum fünften Mal) für hervorragende österreichische Arbeiten auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik, möglichweise mit besonderer Berücksichtigung der sozialen Aspekte verliehen. Kriterien für die Bewertung sind im wesentlichen Innovationsgehalt, Wissenschaftlichkeit, wirtschaftliche Bedeutung sowie Interdisziplinarität des Ansatzes und soziale Relevanz. Der Preis in der Höhe von

öS 60.000,-- pro Jahr

wird je zur Hälfte von den beiden Stiftern geleistet und von einer Jury vergeben, welcher neben Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Wirtschaft auch Vertreter der Gewerkschaft angehören.

Der Fred Margulies-Preis wird am 28. September 1999 um 11 Uhr anläßlich des 14. Österreichischen Automatisierungstages verliehen. Dieser findet im Rahmen der *viet99* im Messe Congress Center Wien, Messegelände, 1020 Wien, statt.

Eingereicht können Studien (auch Diplomarbeiten und Dissertationen) werden, welche innerhalb der letzten 5 Jahre in Österreich abgeschlossen wurden. Diese Arbeiten sind bis spätestens 31. Juli 1999 in einfacher Ausfertigung zusammen mit einer Kurzfassung (max. 10 Seiten) beim

Generalsekretariat des IFAC-Beirates c/o Institut für Handhabungsgeräte- und Robotertechnik) der Technischen Universität, Floragasse 7a, 1040 Wien

einzureichen.

Für weitere Anfragen steht das Sekretariat des IFAC-Beirates unter obiger Adresse zur Verfügung.

Vermeidung und Beseitigung von Notfallsituationen mit regelungstechnischen Lösungen

Fedorov, A.[1)], Stefan, T.[2)], Noisser, R.[2)] und Weinmann, A.[2)]

1) Wissenschaftliches Forschungs-Institut für Informationsprozesse, Technische Universität Kiew, Ukraine
2) Institut für Elektrische Regelungstechnik, Technische Universität Wien, Österreich

Kurzfassung:
Die vorliegende Arbeit gibt Einblick in die Beherrschung von Notsituationen in der Industrie, basierend auf Lösungen im regelungstechnischen Bereich. Zunächst werden die Begriffe Vor-Notfall- und Notfallsituation definiert. Danach werden jene Betriebsfälle betrachtet, in denen Notsituationen auftreten können, und aktuelle Möglichkeiten betrachtet, die im regelungstechnischen Bereich zur Vermeidung und Beseitigung von Notsituationen dienen können.
Dazu werden sowohl einige praxisorientierte Prinzipien zur Vermeidung von Notfällen angegeben, als auch einige perspektivische Zugänge, die auf Neuronalen Netzen und Genetischen Algorithmen beruhen. Abschließend wird an Hand einer konkreten verfahrenstechnischen Regelung gezeigt, daß sich durch den Einsatz von nichtlinearen Reglern auch Notsituationen beherrschen lassen.

1 Vor-Notfall- und Notfallsituationen

Die Aktualität der Vorbeugung und Beseitigung von Notfällen in der Industrie steht außer Zweifel [1 - 6].

Notfallsituationen können mit hohen qualitativen und quantitativen Verlusten verbunden sein. Es gibt sowohl monetäre Verluste als auchVerluste, die schwer in Geld geschätzt werden können (z.B. Gesundheit, das menschliche Leben, Imageverlust usw.). Manche Verluste können kompensiert werden, andere sind irreversibel (tödliche Unfälle etc.). Die Folgen von einigen Notfällen sind sehr schwer zu prognostizieren, z.B. die Katastrophe in Tschernobyl.

Die Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen ist ein komplexes Problem, das in einzelne Unterprobleme differenziert und aufgelöst werden kann. Eine der wichtigsten Unteraufgaben kann durch geeignete Steuerung und Regelung von industriellen Prozessen bewältigt werden.

Die Verluste bei Notsituationen sind wesentlich höher zu bewerten als Gewinne beim optimalem Betrieb nahe einer Kippgrenze. Dies erklärt nachdrücklich die Aktualität der praxisorientierten regelungstechnischen Problemlösungen zur Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen.

Unter dem Begriff **Notsituationen** verstehen wir solche nicht geplante technologische Situationen, die mit hohen ökonomischen Verlusten und/oder ökologischem Schaden verbunden sind. **Vor-Notfallsituationen** sind solche Situationen, die zu Notsituationen führen können, falls die entsprechenden Maßnahmen nicht ergriffen wurden.

Durch direktes Erkennen der Vor-Notfallsituationen und/oder durch Analyse des dynamischen Verhaltens des Prozesses in diesen Situationen können Notsituationen vorausgesagt werden.

Notsituationen können in verschiedenen Systemen entstehen (Atomkraftwerk, chemischer Betrieb, Flugzeug, Hubschrauber oder auch im komplizierten System Mensch - Maschine).

2 Wann können Notsituationen bei Einsatz von Leitsystemen entstehen?

Notsituationen können bei Leitsystemen, die für den Normalbetrieb ausgelegt sind, in folgenden Fällen entstehen:

1. Fehler des Operators
2. Informationsfehler
3. Versagen der Meß- und/oder Steuerungsgeräte
4. Einschalten unpassend programmierter Leitsysteme bei den Vor-Notfall- oder Notfallsituationen
5. Starke Störungseinflüsse, die nicht nur zu raschen und hohen Parameterabweichungen im Prozeß, sondern auch zu schnellen Änderungen der Auswirkung von Steuerungskanälen führen.

Die Analyse von Leitsystemen, die auf die Steuerung und Regelung im linearen Normalbetrieb orientiert sind, zeigt, daß sie nicht immer effiziente Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen gewährleisten können. Hierzu gibt es folgende Gründe:

1. Wesentliche Nichtliniarität vieler industrieller Prozesse.

   Die Eigenschaften vieler Prozesse ändern sich sehr schnell und wesentlich, wenn Notsituationen entstehen. Besonders anschaulich passiert das z.B. bei der Steuerung von chemischen Reaktoren, die im Grunde genommen immer wesentlich nichtlinear sind [7] und daher in Notsituationen zu qualitativen Änderungen des Betriebes und im Extremfall zur Instabilität führen können.

2. Ziele und Steuerungs- und Regelungsstrategien im Normalbetrieb und in Notsituationen sind unterschiedlich:

   Wenn im Normalbetrieb als Ziel z.B. Gewinnmaximierung oder Verlustminimierung betrachtet wird, verfolgt man in Notsituationen ein anderes Ziel, nämlich so schnell wie möglich die gefährliche Situation zu beseitigen. Verluste in Notsituationen können viel höher sein als Gewinne optimaler Steuerungen im Normalbetrieb.

   Der Zielunterschied verlangt einen wesentlichen Strategienunterschied.

3. Die Anzahl der Regelgrößen kann in bestimmten Fällen größer als die Anzahl von realen Steuerbefehlen werden:

   Notfälle in der Industrie entstehen sehr oft dadurch, daß Steuergrößen blockiert sind, daß Reserven von redundanten Steuerbefehlen erschöpft sind. Dann kann die Anzahl von Regelgrößen höher als die Anzahl von realen Steuerbefehlen werden. Dabei ist unter der Blockierung einer Steuergröße zu verstehen, daß die Steuergröße nicht weiter verändert werden kann, weil sie schon an der Begrenzung ansteht, oder weil sie aus verfahrenstechnischen Gründen nicht verändert werden darf.

3 Anforderungen an regelungstechnische Systeme zur Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen

Man kann einige Anforderungen an regelungstechnische Systeme zur Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen formulieren:

Die Arbeitsfähigkeit (Leistungsfähigkeit) muß nicht nur im Normalbetrieb, sondern auch in Vor-Notfall- und Notfallsituationen garantiert sein (Hauptanforderung). Die Systeme sollen schnell und robust sein. Der Schutz gegen Störungen muß sichergestellt werden.

4 Probleme der Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen

Die Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen soll in der Regel durch die Lösung von drei miteinander verbundenen Hauptaufgaben sichergestellt werden:

1. Vorbeugung im Normalbetrieb gegenüber Entstehung von Notsituationen (z.B. durch geeignete Wahl des Betriebspunkts oder durch logische und verfahrenstechnische Tests von informationstragenden technologischen Parametern).
2. Erkennen der Vor-Notfall- und Notfallsituationen (Identifikation der Annäherung an Normalbetriebsgrenzen).
3. Beseitigung der Vor-Notfall- und Notfallsituationen.

Unteraufgaben, deren Lösungen zur Bewältigung der Hauptaufgaben beitragen, können aus Lösungen im regelungstechnischen Bereich resultieren und umfassen:
Software- und Hardware-Weiterentwicklung, Entwicklung von Leitsystemen zur Vorbeugung und Behebung von Vor-Notfall- und Notfallsituationen, Entwicklung von Blockierungssystemen und von Software zur Vorbeugung von Fehlern in Blockierungssystemen, Entwicklung von wissensbasierten Systemen, on-line-Berechnung von technischen, ökonomischen und ökologischen Kennziffern, automatisierte Kontrolle der Arbeit von Operatoren, Personal-Weiterbildung mit dem Schwerpunkt der Vorbeugung von Notfallsituationen, Software-Entwicklung für computergestütztes Training von Operatoren. Dabei ist im Voranstehenden unter einem Blockierungssytem ein Sytem zu verstehen, daß bei sehr gefährlichen Notsituationen eine automatische Abschaltung einer Anlage bewirken soll.

5 Prinzipien zur Vermeidung und Beseitigung der Notsituationen

Konkrete Eigenschaften von industriellen Prozessen haben bei diesbezüglichen Untersuchungen und Überlegungen gezeigt, daß es bestimmte allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten zur Vermeidung oder zur Beseitigung von Notsituationen gibt, die bei der Entwicklung von Prozeßleitsystemen zu nutzen sind.

Folgende Prinzipien kann man dementsprechend formulieren:

Prinzip 1

Genutzt werden müssen zur Regelung oder Steuerung vektorielle Zielfunktionen (Gütekriterien) mit sowohl wirtschaftlichen als auch ökologischen Komponenten, die die Interdependenzen zwischen dem Prozeß und der Umwelt widerspiegeln. In einigen Fällen kann eine Komponente der Zielfunktion dem Risiko von Notsituationen entsprechen.

Prinzip 2

Entwicklung von dynamischen Modellen zur Beschreibung des Prozeßverhaltens in Notsituationen und Orientierung auf solche dynamische Modelle, deren Parameter einfach und schnell im on-line Betrieb als Funktionen von Prozeßparametern berechnet werden können.

In der Regel ändern sich die Eigenschaften industrieller Prozesse bei der Entstehung einer Notsiuation sehr rasch. Dabei müssen auch die mathematischen Modelle sofort angepaßt und die entsprechenden Steuerbefehle berechnet werden.

Die übliche Anpassung von Modellen nach dem Rückkopplungsprinzip im on-line Betrieb ist aber mit einem Zeitaufwand verbunden, der mit der Dauer der Übergangssprozesse vergleichbar ist. Er ist demnach zu groß. Je komplizierter außerdem das Modell ist, desto länger dauert in der Regel die Modell-Adaptation.

Für Notsituationen sind daher solche Modelle zu entwickeln, die einfach und sehr schnell angepaßt werden können, auch wenn dabei vereinfachte Modelle verwendet werden.

Bei der Realisierung des Prinzips 2 kann auch das folgende Prinzip 3 genutzt werden.

Prinzip 3

Dekomposition des dynamischen Modells, das auf Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen orientiert ist, derart, daß in einem ersten Modellblock eine sehr rasche Anpassung im on-line Betrieb erfolgt, und in einem zweiten Modellblock jene Eigenschaften des Prozesses zusammengefaßt werden, deren Modellparameter nicht direkt als Funktionen von Prozeßparametern berechnet werden können.

Im Idealfall sollen nach dem Rückkopplungsprinzip im on-line Betrieb nur jene Verstärkungsglieder angepaßt werden, die keine Trägheit haben.

Die Quintessenz der Prinzipien 2 und 3 besteht in der Sicherstellung der praktisch augenblicklichen (wenn auch angenäherten) Abschätzung der dynamischen Eigenschaften des Prozesses, da sich diese in Notsituationen sehr rasch ändern.

Prinzip 4

Erweiterung der Funktionsfähigkeit des Prozeßleitsystems mittels zusätzlicher (autonomer) Regelkreise.

Der Grundgedanke des Prinzips 4 ist der Einsatz zusätzlicher Regelkreise, die unabhängig vom Hauptregelkreis sind und bei gefährlicher Erhöhung der Regelabweichung zum Einsatz kommen. Die Reihenfolge des Einsatzes der zusätzlichen Regelkreise entspricht dem Aufwand von zusätzlichen Steuerbefehlen.

Prinzip 5

Auf die Optimierung in einem Teilsystem eines zu regelnden Prozesses, in dem es keine Notsituation gibt, ist dann zu verzichten, wenn eine solche Optimierung die Notsituation in einem anderen Teilsystem verschärfen kann. Wenn es keine Möglichkeit gibt, einen Beitrag zur Beseitigung einer Notsituation zu leisten, darf zumindestens diese Beseitigung nicht gestört werden.

Die obgenannten Prinzipien wurden bei der Entwicklung von einigen Leitsystemen genutzt, die in der Industrie eingesetzt worden sind [2,4].

Bei der Entstehung von Notsituationen treten in höchstem Maße sowohl die Nichtlinearität einschließlich der Kopplungen zwischen Regelgrößen und die Nichtstationärität als auch die Möglichkeit der Fehler bei der Realisierung von Steuerbefehlen hervor.

In einigen Fällen verschärft sich die Situation zusätzlich durch die Zieländerungen und die Zeitknappheit für die Entscheidungsfindung.

Das alles erschwert sowohl die Modellentwicklung für die Notsituationen, als auch die Entwicklung von effizienten Strategien zur Beseitigung von Notsituationen.
Unter Berücksichtigung obengenannter Schwierigkeiten seien einige Zugangsperspektiven zur Modellierung und Beseitigung von Notsituationen angegeben, die auf der Ausnutzung von Neuronalen Netzen und Genetischen Algorithmen beruhen.

Zugang 1

Es wird das Modell des Prozesses für die Notsituation einschließlich Struktur- und Modellparameter-Änderungen in der Notsituation geschätzt. Der echte Prozeß und seine Daten in einer vergangenen registrierten Notsituation werden untersucht und die Strategien und Algorithmen zur Vorbeugung und Beseitigung von Notsituationen mit dem Modell verglichen und überprüft.

Zugang 2

Dieser Zugang beruht auf der Ausnutzung der Erfahrungen der besten Operatoren bei der Vorbeugung und Beseitigung von Notfällen. Dazu sind die Handlungen der Operatoren bei der Entstehung und Beherrschung von gefährlichen Betriebssituationen geeignet zu formalisieren.

Zur Modellentwicklung der Handlungen der besten Operatoren in den Notsituationen können Neuronale Netze [9,10] und zur Modell-Parametererkennung Genetische Algorithmen [8] genutzt werden.

Informationsquellen zur Modellentwicklung sind registrierte Prozeß-Meßdaten in Notsituationen, die Experten-Auswertung (Bewertung, Abschätzung, Meßdatenauswertung) durch Befragen der besten Operatoren, sowie eine Kombination aus beiden.

Zugang 3

Es werden vereinfachte verfahrenstechnisch- oder chemisch-mathematische Modelle für den Prozeß in Notsituationen entwickelt, mit Meßdaten aus Notsituationen verglichen und überprüft. Dabei werden auch Modellfehler berücksichtigt und es wird versucht, die Robustheit der Algorithmen zu verbessern.

Nachstehend wird zuerst gezeigt, wie mit Hilfe von Neuronalen Netzen eine Vor-Notfall- oder Notfallsituation erkannt werden kann. Dann wird an Hand einer konkreten verfahrenstechnischen Regelung erläutert, daß sich durch den Einsatz von speziellen nichtlinearen Regelstrategien in Vor-Notfall- und in Notfallsituationen ein wesentlich besseres Regelkreisverhalten als bei der Regelung mittels üblicher linearer Regler erreichen läßt.

6 INSTAR-Learning zur Detektion von Vor-Notfall- oder Notfall - situationen

6.1 Zeitunabhängigkeit

Zur rechnergestützten Abschätzung von gefährlichen Betriebszuständen wird die Methode des INSTAR-Learning angewendet. INSTAR-Learning ist darauf angelegt, einen bestimmten Vektor aus besonderen Zahlen zu erlernen und von einer Menge anderer Zahlen zu unterscheiden. Die Intensität des Lernens wird vom Sollwert y_{ref} des Ausgangs abhängig gemacht. (Eine Spezialisierung des INSTAR-Learning führt auf das Kohonen-Lernmodell.)

Zur Detektion von gefährlichen Betriebszuständen mittels INSTAR-Learning wird der meßbare Zustands- und der Steuervektor $\mathbf{x}$ bzw. $\mathbf{u}$ in einer vektoriellen Variablen $\mathbf{v}$ zusammengefaßt und normiert

$$\mathbf{v} = \frac{\begin{pmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{u}\end{pmatrix}}{\left\|\begin{pmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{u}\end{pmatrix}\right\|_F} .$$

Als Referenzgröße y_{ref} gleich 0 wird eine reguläre Betriebssituation definiert, als $y_{ref} = 1$ eine Vor-Notfall- oder Notfallsituation. Letztere zu einem Zeitpunkt $k_{krit}T$. Die Tabelle der Größe v und zu Zeitpunkten kT lautet dann als

Schema $A \hat{=}$

v	$\mathbf{v}(k_1T)$	$\mathbf{v}(k_2T)$	$\mathbf{v}(k_iT)$	$\mathbf{v}(k_{krit}T)$
y_{ref}	0	0	0	1

.

Nach dem INSTAR-Algorithmus lernt das künstliche Neuronale Netz eine Gewichtsmatrix (Zeile) $\mathbf{w}^T$, die dem Vektor $\mathbf{v}(k_{krit}\,T) = \mathbf{v}_{krit}$ entspricht. Das Programm hiezu in MATLAB lautet

```
% Instar Learning                gsy.m

U=(  randnr(6,4)  )'     %  4 x 6 matrix of four-element
                         %  normalized random vectors
Yref=[0 0 0 0 1 0];
[m,q]=size(U);     [n,q]=size(Yref);    beta=0.25;
Wo=zeros(n,m);
b=-0.95*ones(n,1);
W=Wo;

for ii=1:20
    for l=1:q
        deltaW=beta*Yref(l)*( ( U(:,l) )'-W);  % 1 x n
        W=W+deltaW;
    end
    hintonw(W)
    pause2(0.4)
end
W=W; U=U; Yref=Yref; y=hardlim(W*U,b);
```

Der Lernalgorithmus strebt gegen $\mathbf{w}^T\mathbf{v}_{krit} \rightarrow 1$. Aufgrund der Normierung von $\mathbf{v}_{krit}$ bedeutet dies $\mathbf{w} \rightarrow \mathbf{v}_{krit}$. Das System erlernt kritische Systemvektoren $\mathbf{v}_{krit}$ als $\mathbf{w}_{krit}$ [16]. Die letzte Zeile dient nur der Kontrollanzeige.

Da unbedenkliche Systemvektoren $\mathbf{v}(kT)$ nicht weiterverfolgt zu werden brauchen, ist vom Schema A nur $\mathbf{w}_{krit}$ langfristig zu speichern.

Der Block A mit $\mathbf{w}_{krit}$ wird hingegen mehrfach als A_i mit $\mathbf{w}_{krit\,i}$ angelegt, sobald kritische Systemvektoren erkannt werden. Dieses Erkennen vermag auch aus Aufzeichnungen (Protokollierungen) von Systemzuständen gewonnen werden, die in der Vergangenheit zu Notfall- oder Vornotfallsituationen geführt haben.

Das Auftreten von $w^T_{krit\ i}v(kT)$ nicht nur gleich eins, sondern etwas unter 1 dient einer Vorwarnung.

6.2 Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit

Um die dynamische Entwicklung zu berücksichtigen, wird eine Matrix **V** definiert

$$\mathbf{V} \hat{=} \left(\mathbf{v}[kT] \ \vdots \ \mathbf{v}[(k-1)T] \ \cdots \ \mathbf{v}[(k-n)T]\right).$$

Mit ihr wird die zeitliche Abfolge mitberücksichtigt.

Dieser Fall läßt sich auf die früheren statischen Fälle zurückführen, wenn ein neuer (entsprechend höherdimensionaler) Systemvektor $\mathbf{v} \hat{=} \mathbf{col}\,\mathbf{V}$

definiert wird.

In einem Beispiel wird ein aufklingendes Signal `v_unst` als sechste Spalte der Matrix `U` als gefährlich erklärt. In Spalte 7 steht ein ähnliches Signal unter Beobachtung, allerdings ohne Anregung. Letzteres Signal weist in den ersten vier Werten ein exponentielles Aufklingen mit e^{bT} auf , (b>0), danach aber mit $e^{-(K-b)T}$ und K>b einen stabilisierenden Einfluß durch Zuschaltung einer Rückführung K (Abb. 1). Die ersten fünf Zahlen entstammen zufälligen Zahlen.

```
% Instar Learning  with switching                gsz.m
% from unstable to stable motion

a=5;     b=2;      K=3;      T=0.8;
v=[a    a*exp(b*T)    a*exp(2*b*T)     a*exp(3*b*T)...
   a*exp(3*b*T)*exp(-(K-b)*T)     a*exp(3*b*T)*exp(-2*(K-b)*T)]';
v_unst=[a    a*exp(b*T)    a*exp(2*b*T)     a*exp(3*b*T)...
                           a*exp(4*b*T)     a*exp(5*b*T)]';
U=(  randnr(7,6)  )'      %  6 x 7 matrix of six-element
                          %  normalized random vectors
U(:,6)=normc(v_unst);
U(:,7)=normc(v);
Yref=[0 0 0 0 0 1 0];
[m,q]=size(U);     [n,q]=size(Yref);    beta=0.25;
Wo=zeros(n,m);
b=-0.95*ones(n,1);
W=Wo;

for i=1:20
    for l=1:q
        deltaW=beta*Yref(l)*( ( U(:,l) )'-W);  % 1 x n
        W=W+deltaW;
    end
    hintonw(W)
    pause2(0.4)
end
W=W; U=U; Yref=Yref; y=hardlim(W*U,b);
```

Das Programm des INSTAR-Learning kann die Spalte 6 von allen anderen unterscheiden.

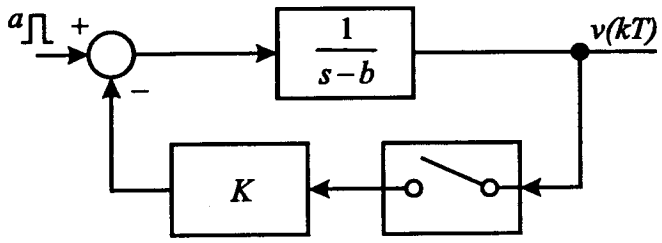


Abb. 1: Beispiel zum Einsatz von INSTAR-Learning

Bezüglich des Anfangswerts *a* im beobachteten Signal aus dem System erster Ordnung ist das neuronale Netz unempfindlich. Dies wird durch die Normierung bewirkt.

7 Verbesserung des Regelkreisverhaltens in Notsituationen durch den Einsatz von nichtlinearen Regelstrategien

Die folgenden Betrachtungen zeigen an Hand eines konkreten verfahrenstechnischen Prozesses, daß sich auch kritische Prozeßzustände (Vor-Notfall- und Notfallsituationen) durch eine geeignete nichtlineare Regelstrategie beherrschen lassen, während der entsprechende lineare Regler kein brauchbares Regelkreisverhalten ergeben kann. Betrachtet wird dazu die vereinfachte Darstellung der Temperaturregelung für einen Ammoniaksynthesereaktor.

Entsprechend der folgenden Gleichung

$$N_2 + 3H_2 \Leftrightarrow 2NH_3 + Q \ (kWh) \tag{1}$$

wird Stickstoff und Wasserstoff zugeführt und durch chemische Reaktion Ammoniak und Wärme erzeugt. Es handelt sich dabei um einen nichtlinearen Prozeß, der bei einem Druck von 260 bis 315 bar und bei Temperaturen von 450 bis 530°C abläuft [11-14]. Abb.2 zeigt dazu das vereinfachte Schema einer Ammoniakerzeugung, die nachstehend kurz erläutert wird.

Die maßgebliche chemische Reaktion erfolgt in der Reaktionszone (2) des Reaktors, bei der Ammoniak und Wärme erzeugt wird. Der Hauptgasfluß V_h fließt durch den Wärmetauscher in die Reaktionszone, wo er durch die Reaktionswärme weiter erwärmt wird, während der Bypass-Gasfluß V_b ohne Erwärmung durch den Wärmetauscher direkt in die Reaktionszone fließt. Die Größe des Gasflusses V_b wird durch das Ventil (5) geregelt, dessen Stellung die Steuergröße u(t) darstellt. Dabei sinken die Temperaturen im Reaktor mit steigendem V_b . Die Temperatur wird, wie Abb. 2 zeigt, in mehreren Zonen des Reaktors gemessen und für die Temperaturregelung wird dann von der höchsten Temperatur ausgegangen, womit für die zu regelnde Temperatur, die die Regelgröße darstellt,

$$y(t) = \max\{y_1(t), y_2(t), \ldots, y_m(t)\}$$

gilt. Auf die Anforderungen zur Regelung dieser Temperatur wird später näher eingegangen.

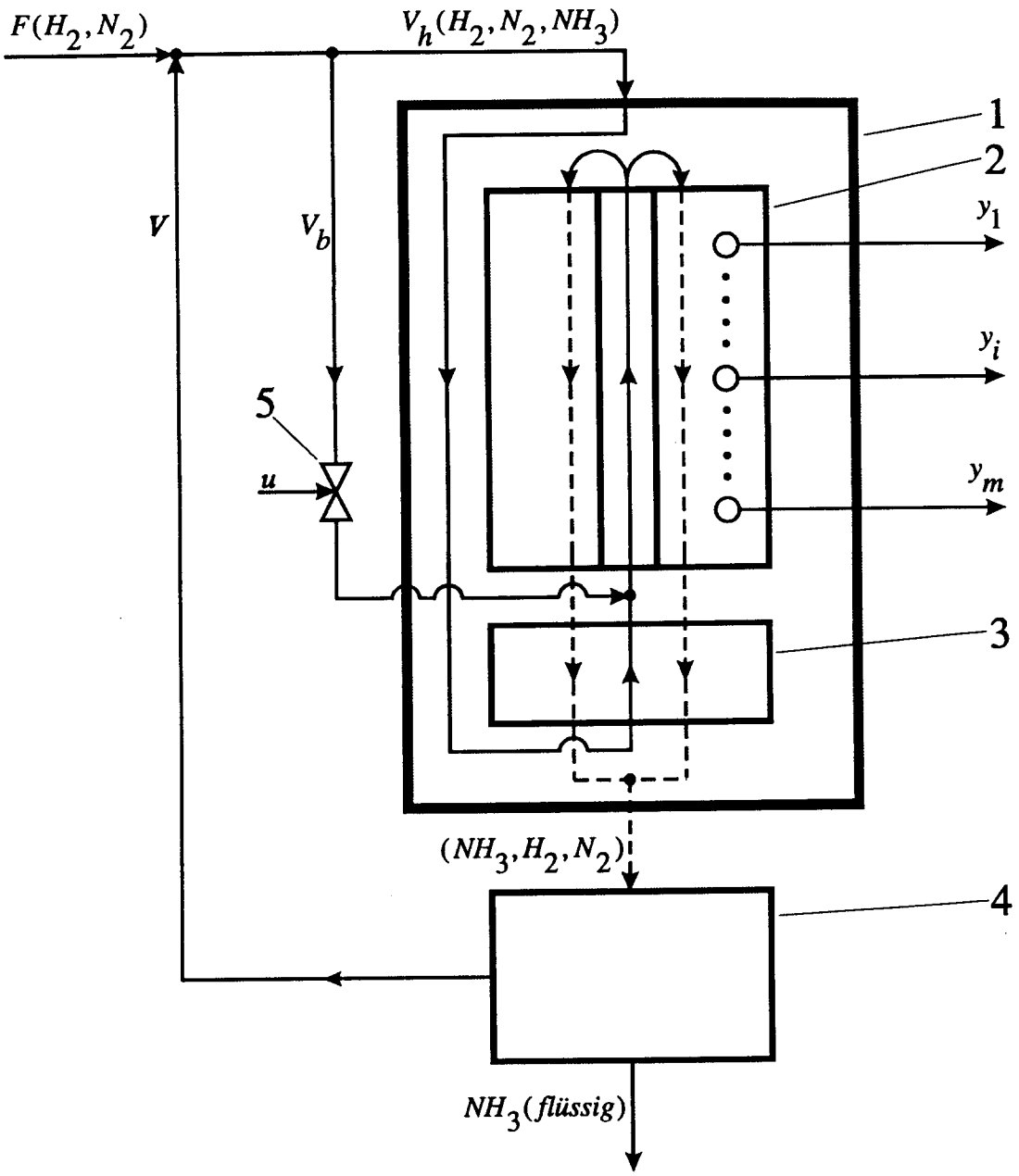


Abb. 2 Prinzip der Ammoniakerzeugung mittels Synthesereaktor

1...Reaktor, 2...Reaktionszone, 3...Wärmetauscher,
4...Ammoniakabscheidung (Kühlanlage, Ammoniak-Kondensierung),
5...Ventil
F...frisches Gasgemisch, V_h...Hauptgasfluß, V_b...Bypass-Gasfluß,
V...zirkulierendes Gasgemisch,u... Stellgröße, y_i...gemessene Temperaturen

In der Ammoniakabscheidung (4) erfolgt durch Kondensierung die Abscheidung von flüssigem Ammoniak während das restliche Gasgemisch V gemeinsam mit dem frischen Gasgemisch dem Reaktor zugeführt wird.

Die folgenden regelungstechnischen Betrachtungen gehen von folgendem linearen Modell aus, das näherungsweise das Verhalten des Reaktors um einen Arbeitspunkt beschreibt:

$$T\frac{dy(t)}{dt} + Ny(t) = ku(t - T_T) + z(t) \tag{2}$$

y ... Temperatur im Reaktor
u ... Stellgröße (Ventilstellung)
z ... Störgröße

Die Modellparameter T, k, T_T und N liegen dabei in folgenden Bereichen:

T = 200 bis 900 Sekunden
N = 1; 0
k = –0.9 bis –8.8
T_T = 40 bis 180 Sekunden. (3)

Als Störgrößen treten beispielsweise die NH_3 Eintrittskonzentration, das N_2/H_2 Verhältnis sowie die Größe des Durchflusses durch den Reaktor und der Druck im Reaktor auf.

Die Schwierigkeit, ein solches System zu regeln, liegt darin, daß dessen Parameter in einem großen Bereich liegen und daß sich diese vor allem sehr rasch – in etwa 10 bis 60 Sekunden – gravierend ändern können. Weiters ist noch festzuhalten, daß N=1 den Normalzustand darstellt, in Vor-Notfall- und in Notfallsituationen aber auch N=0 auftreten kann, was eine gravierende Strukturänderung darstellt und die Regelung dieses Systems sehr erschwert.

Zur Temperaturregelung des Reaktors ist folgendes anzuführen. Für die zulässige Temperatur gibt es eine untere und eine obere Grenze. Die obere Grenze ist dadurch gegeben, daß bei zu hohen Temperaturen der Katalysator sehr rasch verschleißt und die untere Grenze folgt daraus, daß beim Unterschreiten eines bestimmten Temperaturwertes die Reaktion im Reaktor zum Abbruch kommt und damit die Anlage in den Stillstand geht. Dies soll auf jeden Fall vermieden werden. Ein Operator wird dementsprechend den Reaktor so regeln, daß die Temperatur eher im oberen Teil des zulässigen Bereiches liegt, um auf der sicheren Seite zu sein. Andererseits sollte aber die Temperatur eher im unteren Teil des zulässigen Bereiches liegen, da dadurch die Produktivität der Anlage und die Lebensdauer des Katalysators steigt.

Die Regelung für eine Anlage sollte daher so arbeiten, daß die durch Störungen auftretenden Temperaturschwankungen möglichst klein gehalten werden, so daß die vorzugebende Solltemperatur möglichst niedrig sein kann.

Im folgenden wird dazu gezeigt, daß sich durch Einsatz eines geeigneten nichtlinearen Reglers die Temperaturschwankungen bei Störgrößeneinfluß vor allem im Falle einer Vor-Notfall- oder in einer Notfallsituation (N=0) wesentlich kleiner halten lassen als bei der Regelung mittels linearem Regler. Im Extremfall bedeutet dies, daß die Anlage nur von einem Operator oder mit Hilfe eines nichtlinearen Reglers geregelt werden kann, da alle auftretenden Temperaturschwankungen innerhalb des für den Reaktor zulässigen Temperaturbereiches bleiben müssen.

Ausgegangen wird für die folgenden Betrachtungen von der durch die Gln.(2,3) beschriebenen Regelstrecke. Für diese wurde ein linearer digitaler PI-Regler so gewählt, daß eine möglichst günstige Ausregelung von Störgrößensprüngen erfolgt, wenn die Modellparameter in dem durch die Gln.(3) vorgegebenem Bereich liegen. Mit w(k) als Sollwert und der Regelabweichung

$$e(k) = w(k) - y(k) \tag{4}$$

gilt für diesen linearen digitalen PI-Regler mit der Abtastzeit $T_A = 30$

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= K_R\left(e(k) - e(k-1) + \frac{T_A}{T_N} e(k)\right) \\ K_R &= -.35 \\ T_N &= 720. \end{aligned} \tag{5}$$

Betrachtet wird das Verhalten der mit diesem Regler arbeitenden Regelung für die Streckenparameter T = *200*, T_T = 40, k= –0.9 und w(t)=0 für den Störgrößensprung $z(t) = -55\sigma(t)$. Abb.3 zeigt die zugehörenden Sprungantworten der Regelgröße y(t) für N=1 und N=0 , wobei y(t) die Abweichung von einem Stationärzustand darstellt.

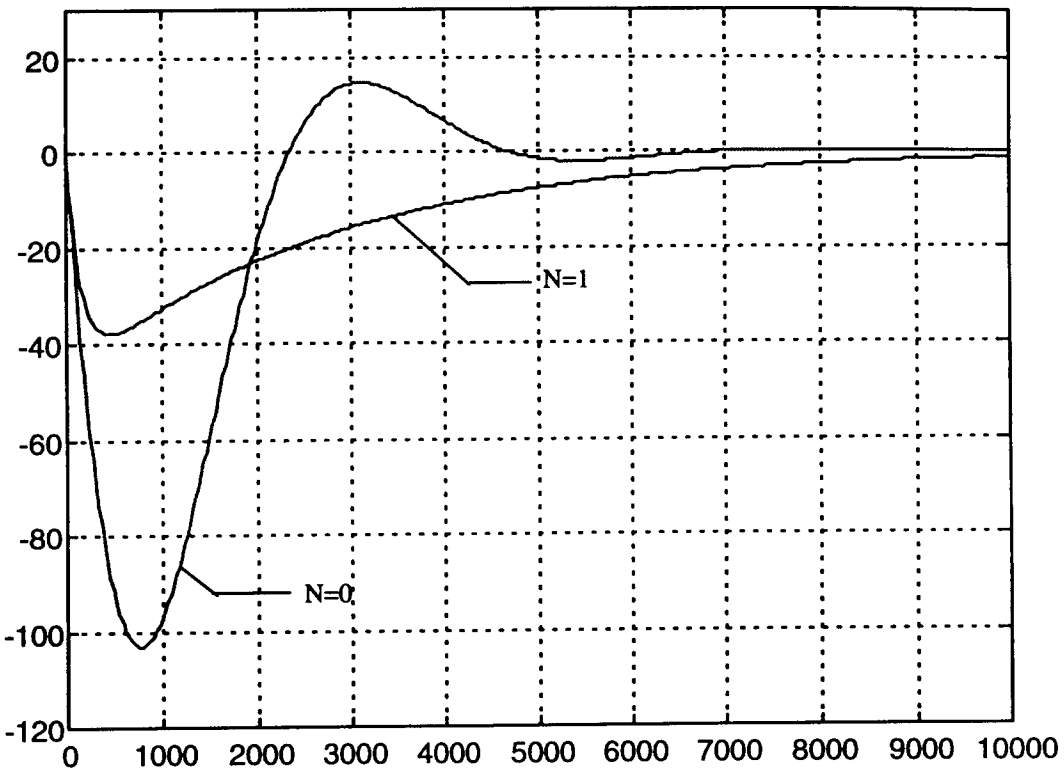


Abb. 3 Verlauf der Regelgröße bei der Regelung mit linearem Regler für $z(t) = -55\sigma(t)$ und für $N = 1$ sowie $N = 0$

Daraus ist zu ersehen, daß sich im Falle einer Notsituation (N=0) eine wesentlich schlechtere Ausregelung des Störungseinflusses als im Normalfall (N=1) ergibt. Durch den Einsatz eines nichtlinearen Reglers kann – wie nachstehend gezeigt wird – diese Verschlechterung des Regelkreisverhaltens ganz gravierend verringert werden. Ziel des nichtlinearen Regelalgorithmus war es im wesentlichen, den durch Gl.(5) gegebenen linearen Regler so zu modifizieren, daß das Verhalten eines guten Operators in den Regelalgorithmus einfließt und damit im Notfall ein deutlich besseres Regelverhalten erreicht wird.

Die Analyse des Verhaltens von guten Operatoren zeigt folgendes Verhalten:

- Bei kleinen Temperaturabweichungen vom Sollwert erfolgt keine Änderung der Stellgröße.
- Bei etwas größeren Temperaturabweichungen versucht der Operator durch eher kleine Änderungen der Stellgröße die Regelabweichung zu verkleinern.
- Bei großen Temperaturabweichungen bewirkt der Operator auch große Änderungen der Stellgröße.
- Bei sehr großen Regelabweichungen bewirkt der Operator sehr große Änderungen der Stellgröße, wenn sich die Temperatur zusätzlich noch vom Sollwert wegbewegt.

Das voranstehende Verhalten wird etwa im folgenden nichtlinearen Regelalgorithmus nachgebildet.

Ausgegangen wird dazu von der Regelabweichung

$$e(k) = w(k) - y(k)$$

sowie von

$$\Delta y(k) = y(k) - y(k-1). \tag{6}$$

Mit obigem *e(k)* und mit

$$e^*(k) = \begin{cases} 0, wenn |e(k)| < \xi_1 \\ sign(e(k))(|e(k)| - \xi_1), wenn |e(k)| \geq \xi_1 \end{cases} \tag{7}$$

lautet dann der nichtlineare Regelalgorithmus

$$\Delta u(k) = K_1 K_2 K_R (e^*(k) - e^*(k-1) + \frac{T_A}{T_N} e^*(k)) \tag{8}$$

wobei

$$K_1 = K_{11} K_{12}$$

$$K_{11} = \begin{cases} 1, wenn\ |e^*(k)| \leq \xi_2 \\ b, wenn\ |e^*(k)| > \xi_2 \end{cases}$$

$$K_{12} = \begin{cases} 1, wenn\ |e^*(k)| \leq \xi_3 \\ c_0 + c_1(|e^*(k)| - \xi_3), wenn\ |e^*(k)| > \xi_3 \end{cases} \tag{9}$$

$$K_2 = c_2 + c_3(|e^*(k)| - \xi_4), \text{ wenn } |e^*(k)| > \xi_4 \text{ und wenn}$$
$$(e^*(k) < 0 \text{ und } \Delta y(k) > \xi_5 \text{ oder } e^*(k) > 0 \text{ und } -\Delta y(k) > \xi_6),$$
$$\text{sonst } K_2 = 1.$$

gilt.

Für K_R und T_N wurden dazu wie beim linearen Regler K_R= –0,35 und T_N=720 gewählt. Die weiteren Parameter des nichtlinearen Regelalgorithmus wurden dann auf Grund von Simulationsuntersuchungen ermittelt. Es haben sich damit folgende Werte ergeben:

$$\xi_1 = 5;\ \xi_2 = 4;\ \xi_3 = 7{,}5;\ \xi_4 = 30;\ \xi_5 = 0;\ \xi_6 = 0$$
$$b = 1;\ c_0 = 1;\ c_1 = .08;\ c_2 = 1;\ c_3 = 0{,}15. \tag{10}$$

Abb.4 zeigt das Regelkreisverhalten für *N*=1 und *N*=0 bei einer Regelung mit dem voranstehenden nichtlinearen Regelalgorithmus für die auch bei der Regelung mittels

linearem PI-Regler angenommenen Streckenparameter T = *200*, T_T = 40, k= –0.9 für einen Störgrößensprung $z(t) = -55\sigma(t)$.

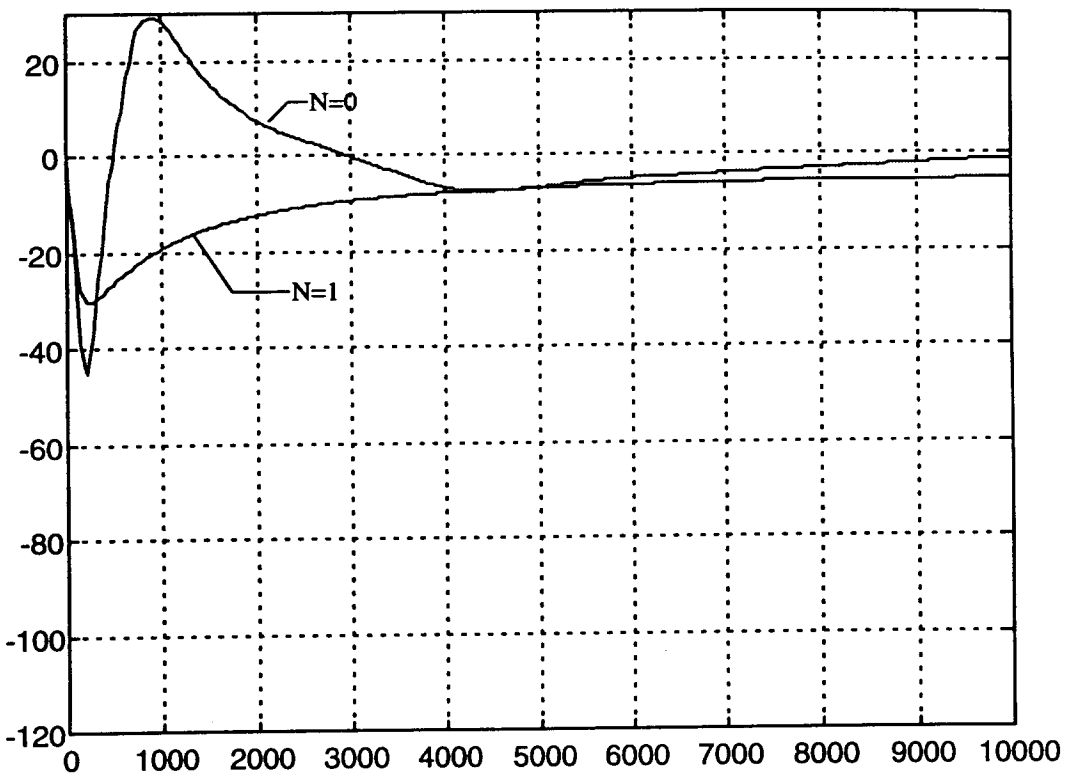


Abb. 4 Verlauf der Regelgröße bei der Regelung mit nichtlinearem Regler für $z(t) = -55\sigma(t)$ und für $N = 1$ sowie $N = 0$

Der Vergleich der Temperaturverläufe von Abb.3 und Abb.4 zeigt Folgendes. Vor allem in Hinblick auf die maximal auftretende Regelabweichung ergibt der nichtlineare Regler im Normalfall (N=1) ein nicht wesentlich besseres, aber im Vornotfall oder Notfall (N=0) ein vielfach besseres Regelkreisverhalten als der lineare PI-Regler; für N=0 ist die maximale Regelabweichung beim linearen Regler etwa 105 und beim nichtlinearen Regler nur etwa 45.

Die voranstehenden Betrachtungen zeigen an Hand einer konkreten verfahrenstechnischen Regelung, daß sich durch den Einsatz von nichtlinearen Regelstrategien insbesonders in Notsituationen ein wesentlich besseres Regelkreisverhalten als mit einem linearen Regler erreichen läßt. Im Extremfall kann dies bedeuten, daß ein verfahrenstechnischer Prozeß im gesamten Arbeitsbereich nur von einem Operator oder mittels bestimmter nichtlinearer Regelstrategie, nicht aber mit einem linearen Regler zufriedenstellend geregelt werden kann.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird zuerst allgemein auf einige maßgebliche Möglichkeiten zur Vorbeugung und Beseitigung sowie zur Erkennung von Notsituationen eingegangen. Dann

wird gezeigt, wie mit Hilfe eines künstlichen Neuronalen Netzes das Auftreten einer Vornotfall- oder Notfallsituation erkannt werden kann. Abschließend wird an Hand eines konkreten verfahrenstechnischen Prozesses dargelegt, daß durch den Einsatz von speziellen nichtlinearen Regelstrategien auch Notsituationen beherrscht werden können.

9 Literaturverzeichnis

[1] Himmelblau, M., Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes, Elsevier Scientific Publishing Company.Amsterdam - Oxford - New York, 1978

[2] Fedorov, A., Leitsystem für Ammoniakanlagen - Leitsysteme und Steueranlagen, 1991, Bericht N3

[3] Bestschatow, M., Sokolow, W., Kaz, M., Notfälle in chemischen Betrieben und Maßnahmen zu ihrer Vorbeugung. Verlag Chemie. Moskau, 1976

[4] Fedorov, A., Verfahren der Prozessführung eines Ammoniakproduktionsprozesses. Patent N 3914. Industrielles Eigentum, 1994, Bericht N6

[5] Leimer,E., Kiese, G., Muschelknautz, S., Scheker, H.G., Sicherheitstechnische Auslegung und Absicherung von verfahrenstechnischen Anlagen mit Hilfe eines wissenbasierten Systems. Chemie - Ing. Techn. 68 (1996), 1142 - 1143

[6] Schecker, H.G., Stabilität und Induktionszeit von Feststoffschüttungen, VDI -Berichte Nr. 1272 (1996), 203 - 213

[7] Yablonskii, G., Kinetic models of catalitic reactions, V. 32 Comprehensive chemical kinetics, Elsevier, 1991

[8] Goldberg, D., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Adddison - Wesley, 1989

[9] Weinmann, A., Regelungen, Analyse und technischer Entwurf. Band 2: Multivariable, digitale und nichtlineare Regelungen; optimale und robuste Systeme. Springer Wien - New York. 1995

[10] Demel, S., Grünberger, T., Genetische Algorithmen. Untersuchung verschiedener genetischer Operatoren und Codierungsarten. Int.J.Automation Austria, Heft 1, Jg. 3 (1995), 28 - 42.

[11] Atrostschenko, W.I., Alekweew A.M., Sasorin, A.G., Technologie des gebundenen Stickstoffes. Staatsuniversität Kcharkow, Kcharkow 1962

[12] Fedorov, A., Dynamisches Model eines autothermischen Reaktors. Chemischer Maschinenbau, Nr. 41, Kiew, 1985

[13] Hartmann, K., Slinko, M.G., Automatisierte Steuerung kontinuierlicher Produktionsprozesse. Akademie-Verlag, Berlin, 1975

[14] Kuznetzow, L.D., Dmitrenko, L.M., Rabina, P.D., Sokolinskj, J.A. Ammoniaksynthese, Chemie, Moskau, 1982

[15] Grossberg, S., Studies of the Mind and Brain, Drodrecht, Reidel Press, 1982

Neural Networks for Control of Multiple Robotic Systems

A. Pajaziti* and P. Kopacek**

* Mechanical Engineering Faculty, University of Prishtina, Kosova, YU
** Institute for Handling Devices and Robotics, Vienna University of Technology, Austria

Abstract - *This paper considers the application of neural networks to control scheme and the well-known computer torque method to the manipulation of a single rigid object by two redundant manipulators forming a closed-chain with three degrees of freedom equal to the number of scalar task coordinates. The main objective of NN controller is to serve as the inverse model of the multiple robot system that can be trained on-line using joint tracking error. The two three-link redundant manipulators grasping a common object is adopted as an example mechanism to demonstrate proposed NN control scheme associated with computed-torque method. Several variations of this basic technique are introduced. Back-propagation training algorithms for the NN controller have been developed. The simulation results show that both of the redundant manipulators can maintain the contacts and manipulate the common object to follow the desired motion with the proposed scheme.*

Key words: Neural Network Controllers; Multiple Robotic Systems; Control; Simulations

1 Introduction

It has been long before recognized that multiple cooperative manipulators are capable of performing tasks that are either difficult or impossible to perform by a single manipulator. These tasks include manipulation and transportation of heavy, long, large, or flexible objects. Control methods for coordinated multiple manipulators have been an active area in robotics for more than a decade. These methods can be classified in the following categories:

a) **Master/Slave** method where one or a group of manipulators play the role of master, and the rest of manipulators form the slave group which are moved in conduction with the master manipulator.

b) **Hybrid position/force control** method where the position of the object is controlled in certain directions of the workspace and the forces are controlled in the other directions. Each manipulator is controlled using position and force errors.

However, many of these methods have the disadvantage that the control parameters are fixed. With the uncertainty in dynamic modeling of coordinated two manipulators, it is generally difficult to obtain the desired motion using fixed control gain especially when the task and payload change.

Recently, control application of neural networks received increasing attentions due to their versatility, such as nonlinear mapping, learning capability and parallel processing (Tao *et al.*, 1993). Arimoto *et al.* was among the first who proposed an iterative learning algorithm. Kawamura *et al.*, investigated learning control of robots based on repeatability of robot motion and linear approximation. The repeatability of robot motion was also required to design learning filters in. Gu and Loh presented a multi-step learning control scheme with input signals chosen as weighted summation of the errors of previous operations. On the other hand, Bondi *et al.*, studied the learning control problem using "high gain" position, velocity and acceleration feedback control. Albus proposed a unique control scheme using a CMAC (Cerebellar Model Arithmetic Computer) neural model to control the robot following a desired position trajectory. Miller used two CMAC networks to implement a real-time robot control system with vision. The main objective of neural networks is to control the position and interactive force simultaneously while the multiple robots are manipulating a single object. The tracking performance can be improved by the use of the neural network trained an on-line learning algorithm (Wu *et al.*, 1993).

The goal of the NN controller is similar to that of the adaptive controller (Yabuta *et al*, 1990). It is therefore important to establish the differences between the adaptive controller and the NN controller.

Hence, the learning theory for contact tasks of multiple robots has not been studied extensively; the aim of this work is intention of extending the whole theory developed in order to deal with more general problem of performing position and force control of multiple robots. The main feature of proposed learning control schemes is using of multi-layer perceptrons with special topology for fast and robust on-line learning of internal robot dynamic relations.

The paper is organized as follows. In Section 2 a dynamic modeling of multiple robotic systems is presented. In Section 3 the conventional position and force control of two cooperating arms is derived. A proposed learning algorithm given in Section 4 is provided for reportedly assigned tasks trained by the use of the NNs. The developed control learning algorithm is robust to parameter variations and external influences of multiple robotic system. Simulations given in Section 5 verify the effectiveness of the control learning algorithm. NN controller has been used BP algorithm. Finally, Section 6 draws the main Conclusions of the paper.

2 Dynamic modeling of multiple robotic systems

Consider a system of n robots manipulating an object as depicted in Figure 1. Each manipulator may grasp the object rigidly, make a palm-type contact with the object, or make a frictional point contact with the object. A manipulator grasping the object rigidly may exert both forces and moments on the object. A palm-type contact may exert forces on the object by pushing and also exert a moment about the end-effector frame approach axis. A manipulator pushing on the object via a frictional point contact may only exert forces on the object and no moments. All vectors are shown with respect to the world frame coordinates.

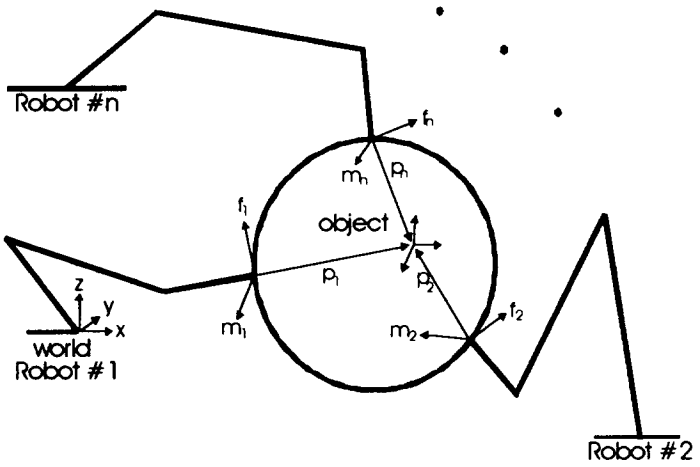


Fig. 1 Multiple Robotic Systems

The net force at the object frame is related to the forces applied by the manipulators by:

$$f_{obj} = \Gamma_0^T f \tag{1}$$

where $f_{obj} = \left[f_0^T \; m_0^T\right]^T$ is net force and moment at the object frame.

$$\Gamma_0^T = \left[\Gamma_{01}^T \ldots \Gamma_{0n}^T\right]_0$$

Γ_{0i} is transform matrix from the object frame to the i-th end-effector frame.

$$f = \left[f_1^T \; m_1^T \ldots f_n^T m_n^T\right]^T.$$

f_i is force applied by the i-th end-effector.

m_i is moment applied by the i-th end-effector.

Each Jacobian transpose for a rigid grasp/palm-type contact and for a frictional point contact is, respectively,

$$\Gamma_{0i}^{T} = \begin{bmatrix} I_3 & O_3 \\ -P_i & I_3 \end{bmatrix} \text{ and } \Gamma_{0i}^{T} = \begin{bmatrix} I_3 \\ -P_i \end{bmatrix} \tag{2}$$

where $P_i = p_i x = \begin{bmatrix} 0 & -p_{iz} & p_{iy} \\ p_{iz} & 0 & -p_{ix} \\ -p_{iy} & p_{ix} & 0 \end{bmatrix}$ and $p_i = \begin{bmatrix} p_{ix} & p_{iy} & p_{iz} \end{bmatrix}^T$ is the vector from the *i*-th end-effector to the object frame, and O_3 and I_3 are *3 x 3* zero and identity matrices respectively.

2.1 Kinematics

The position, velocity and acceleration of the end-effector can be related to the joint coordinates by the equations:

$$p_i = p_i(\theta_i); \quad p_i = J_i \theta_i; \quad p_i = J_i \theta_i + J_i \theta_i \tag{3}$$

respectively, where the Jacobian matrix J_i relates the end-effector rates to the joint rates.

There are three possible contact condition cases between the object coordinates and end-effector coordinates. There are:

1. The end-effector rigidly grasps the object.
2. The object rolls on the end-effector surface.
3. The object slides on the end-effector surface.

Since Γ_{0i}^{T} is the transform matrix that transforms object velocities referred to the center of mass to the contact point of the object and the *i*-th end-effector, in case of rigidly grasping the object, the end-effector and the object can be considered as the same body. Quite simply, rigid body kinematics equations apply:

$$p_i = \Gamma_{0i}^{T} p_0 \tag{4}$$

The acceleration equations can be obtained from differentiating Equation (4):

$$\ddot{p}_i = \Gamma_{oi}^{T} \ddot{p}_0 + \dot{\Gamma}_{oi}^{T} \dot{p}_0 \tag{5}$$

2.2 Dynamic equations of motion

The equation of motion of the i-th robot with position and force constraints in joint space is given as:

$$A_i(\theta_i)\ddot{\theta}_i + b_i(\dot{\theta}_i) = \tau_i - J_i^T \Gamma_{0i}^T F_i \tag{6}$$

for $i = 1,2,...,m$, where

A_i: denotes the n_i x n_i inertia matrix of i-th robot.

b_i: denotes the Coriolis, centrifugal effects of i-th robot, an n_i x 1 vector.

J_i^T : denotes the transpose of 6 x n_i Jacobian matrix of i-th robot.

Γ_{0i}^T: denotes the transpose of 6 x n_i Jacobian matrix for a rigid grasp/palm type contacts.

F_i: is the 6 x 1 force/moment vector applied to the object by i-th robot.

τ_i : is the n_i x 1 vector representing the joint torque's or forces of i-th robot.

q_i: represents the joint angle of i-th robot, an n_i x 1 vector.

The equation of motion for the object with j contacts can be written as:

$$A_0(p_0)\ddot{p}_0 + b_0(\dot{p}_0) = \sum_{i=1}^{j} \Gamma_{0i}^T F_{pi} + W \tag{7}$$

A_0 is the 6 x 6 matrix of the object given by:

$$A_0 = \begin{bmatrix} m_0 I_3 & O_3 \\ O_3 & M_0 \end{bmatrix},$$

where m_0 is the mass and M_0 is the inertia tensor (along principal axes about the center of mass C) of the object. W is the vector of external forces and moments acting on the object, including gravity, and b_0 is the six-dimensional vector of nonlinear velocity dependent terms:

$$b_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_o \, x \, M_0 \omega_o \end{bmatrix}$$

The mobility for a holonomic system is the minimum number of independent generalized coordinates required to describe the configuration of the system. If the mobility is m, the task space is described by an m-dimensional vector of generalized coordinates, p_0. Equations (6) and (7) can be rewritten as m equations of motion in the task space of the form:

$$F_p = a(p_o, \dot{p}_o) + b(p_o)\tau \tag{8}$$

Further, if λ is the vector of contact forces in the system, it can be written in the form:

$$\lambda = \left[F_{p1}\ F_{p2}\ \ldots\ F_{pn}\right] = a(p_o, \dot{p}_o) + b(p_o)\tau \tag{9}$$

2.3 Example with two planar 3-R manipulators

Consider two robots firmly holding a single object as shown in Figure 2. Each robot has three revolute joints making one contact with the manipulated object ($j=2$) on the third link with a planar palm as an end-effector. The object is to be manipulated using the palmar contact while a desired condition of contact is maintained (Paljug *et al.*, 1994). Here, p_o is the three dimensional and two other independent position variables. Thus the task space can be defined by p_o; d_1 and $d_2 \cdot d_i$ is the scalar parameter (arc length) that describes the location of the contact point on the end-effector. However, in general, it is difficult to derive closed form expressions for d_i in terms of joint angles. Therefore is chosen the orientation of the two palmar surfaces, Φ_1 and Φ_2 respectively, as the two other generalized coordinates:

$$\Phi_1 = \theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{13};\ \Phi_2 = \theta_{21} + \theta_{22} + \theta_{23};$$

Thus, the task space variable $p_o = [x_o\ z_o\ \Phi_o\ \Phi_1\ \Phi_2]^T$.

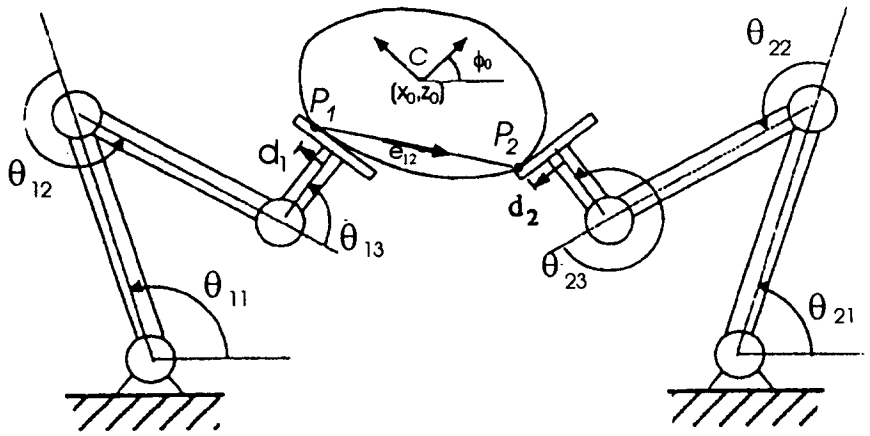


Fig. 2 Two 3-R robotic arms manipulating an object

The dynamic equations of motion for the manipulators in the joint space are given in (8).

Since the joint accelerations and the manipulator end-effector accelerations are related by:

$$\ddot{\theta}_i = J_i^{-1}\ddot{p}_i - J_i^{-1}\dot{J}_i\dot{\theta}_i$$

we obtain the motion equations of the manipulator in Cartesian space as follows:

$$H_i\ddot{p}_i + h_i + F_i = J_i^{-T}\tau_i \tag{10}$$

where $H_i = J_i^{-T} A_i J_i^{-1}$ and $h_i = -J_i^{-T} A_i J_i^{-1}\dot{J}_i\dot{\theta}_i + J_i^{-T} b_i$. Now since we want to express all equations in the object space, we use Equations (5) and (10) to get

$$H_i\Gamma_{0i}^T\ddot{p}_0 + (H_i g_i + h_i) + F_i = J_i^{-T}\tau_i \tag{11}$$

From Equations (7) and (11), we obtain

$$\ddot{p}_o = -U^{-1}\Gamma_o^T\begin{bmatrix} H_1 g_1 + h_1 \\ H_2 g_2 + h_2 \end{bmatrix} + U^{-1}D\tau + U^{-1}(W + b_o) \tag{12}$$

where U is the task space inertia of the complete system given by:

$= A_i + J_{o1}^T H_1 J_{o1} + J_{o2}^T H_2 J_2$, $\tau = \begin{bmatrix}\tau_1^T & \tau_2^T\end{bmatrix}^T$, $= \begin{bmatrix}\tau_1^T & \tau_2^T\end{bmatrix}^T$ and

$D = \begin{bmatrix}\Gamma_{o1}^T J_1^{-T} & \Gamma_{o2}^T J_2^{-T}\end{bmatrix}$, a Jacobian matrix.

The contact forces and moments can easily be calculated. For example, the expression for F_1 is obtained from Equations (11) and (12) as

$$F_1 = a(p_o, \dot{p}_o) + b(p_o)\tau \tag{13}$$

WHERE

$$a(p_o, \dot{p}_o) = -H_1 J_{o1}\left[-U^{-1}J^T\begin{bmatrix} H_1 g_1 + h_1 \\ H_2 g_2 + h_2 \end{bmatrix} + U^{-1}(W + b_o)\right] - H_1 g_1 + h_1$$

$$b(p_o) = \begin{bmatrix} -H_1\Gamma_{o1}U^{-1}\Gamma_{o1}^T J_1^{-T} + J_1^{-T} - H_1\Gamma_{o1}U^{-1}\Gamma_{o2}^T J_2^{-T}\end{bmatrix}$$

2.4 Unilateral constraints

Each link contact with the object can only push and cannot pull the object. Additionally, the pushing force must be within the friction cone. This necessitates the control of contact forces F_i. For the two planar 3-R manipulators discussed in the preceding section, the system has

six actuators and the mobility is five. In addition to controlling five position variables (x_o, z_o, ϕ_o, ϕ_1, ϕ_2). This force variable and its desired value must be chosen to ensure that the normal component of force must be positive. By defining the critical contact force as:

$$F_{cc} = \min\{e_{12} \cdot F_1, -e_{12} \cdot F_2\} = \frac{e_{12} \cdot F_1 - e_{12} \cdot F_2 - |e_{12} \cdot F_1 + e_{12} \cdot F_2|}{2} \tag{14}$$

we specify the minimum contact force along e_{12} . The advantage in controlling the critical contact force is that we explicitly control each individual force component, $F_1 \cdot e_{12}$ and e_{12}, instead of controlling the internal force component that is difference of the two forces.

3 Position and force control

In order to perform the task of manipulating the object by multiple robots, the controller must regulate the position and orientation of the object, and the object, and the contact conditions. The control of the contact condition necessities the control of certain forces, e.g., the critical contact force for two 3-R manipulators discussed in the Section 2.3. Equation (12) characterizes the motion of the robots and object. We now introduce a state variable and represent the motion equation in the state space.

We choose the following state variable:

$$x = [x_1 \; x_2 \; x_3]^T = [p_o \; \dot{p}_o \; \tau]^T$$

Then Equation (12) can be rewritten in the state space:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ \bar{f}(x_1, x_2) + \bar{g}(x_1) x_3 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} u = \xi(x) + \eta(x) u \tag{15}$$

where

$$\bar{f}(x_1, x_2) = -U^{-1} \Gamma_o^T \begin{bmatrix} H_1 g_1 + h_1 \\ H_2 g_2 + h_2 \end{bmatrix} + U^{-1}(W + b_o) \text{ and } \bar{g}(x_1) = U^{-1} D.$$

As for the output equation, we have the position and orientation of the object, p_o, as part of it since they are to be controlled directly. In a general case with two 6 d.o.f. arms in space, p_o is 6 dimensional, x is 24 dimensional and τ is 12 dimensional. Since u is also 12 dimensional, there are 6 surplus inputs that can be used to control the critical contact forces.

In the planar example in Figure 2, p_o is three-dimensional and there are six actuators. Therefore τ and the input vector u are six dimensional, and the state vector is twelve

dimensional. There is one surplus input which can be used to control force components, in this case the projection of F_1 along e_{12}. Therefore, the output is given by:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_o \\ e_{12}^T F_1 \end{bmatrix} \tag{16}$$

The expression for F_1 from Equation (13) has the form $F_1 = a(x_1,x_2) + b(x_1)x_3$.

In this equation y_1 represents the position control variables, while y_2 is the force control variable.

3.1 The model-based computed-torque method

The model-based computed-torque method is the basic approach to robot control. When equations of motion for the object is available, the control law can be written as (see Figure 3):

$$(t) = \hat{A}_0(p_0)u(t) + \hat{b}_0(p_0, \dot{p}_0) + J^T(q)F_1 \tag{17}$$

where $\hat{A}_0(p_0)$ and $\hat{b}_0(p_0, \dot{p}_0)$ are estimates of $A_0(p_0)$ and $b_0(p_0, \dot{p}_0)$ and $u(t)$ is given by:

$$u(t) = \ddot{p}_0^d + K_D(\dot{p}_0^d - \dot{p}_0) + K_P(p_0^d - p_0) \tag{18}$$

where K_P and K_D are $n \times n$ symmetric positive definite gain matrices.

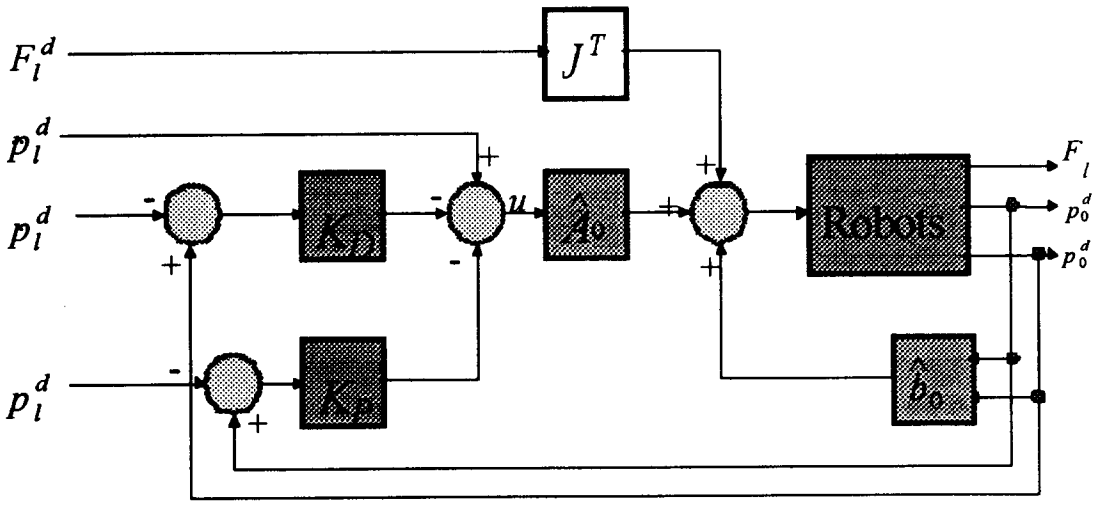


Fig. 3 On-line torque compensation scheme

Combining (7), (17), and (18), and ignoring the null space control for simplicity reasons yields the closed loop dynamic equation:

$$\ddot{e}+K_D\dot{e}+K_P e=\hat{A}_0^{-1}(\Delta A_0(p_0)\ddot{p}_0+\Delta b_0(p_0,\dot{p}_0) \tag{19}$$

where $\Delta A_0(p_0)=A_0(p_0)-\hat{A}_0(p_0)$, and $\Delta b_0(p_0,\dot{p}_0)=b_0(p_0,\dot{p}_0)-\hat{b}_0(p_0,\dot{p}_0)$, and $e=(p_0^d-p_0)$. If $\hat{A}_0=A_0$, $\hat{b}_0=b_0$ then equation (19) becomes the following ideal linear second order equation:

$$\ddot{e}+K_D\dot{e}+K_P e=0 \tag{20}$$

where K_D and K_P can be chosen to achieve decoupled critically damped or over-damped system response.

Since there are always uncertainties in the robot dynamic model, the ideal error response (20) can not be achieved and the performance is degraded as indicated by (19). Thus the computed-torque-based control is not robust in practice. To improve robustness, NN controllers have been employed to compensate for the uncertainties as will be shown in Section 4.

4 Position and force control using neural network

It has been shown that the control law (17) selected in Section 3.1 guarantees the asymptotic stability for both position and force control of multiple robotic systems. This control law requires either an exact model of the system, or exacts in advance knowledge of the dynamic system. That is $\hat{A}_0(p_0)$ and $\hat{b}_0(p_0,\dot{p}_0)$ should be known exactly in relations to the actual model $(A_0(p_0),b_0(p_0,\dot{p}_0))$. In practice, these values may not be available precisely due to the uncertainties of the dynamic model and/or the external disturbances.

In order to achieve a good tracking performance with the presence of the model uncertainties, a neural network controller is incorporated into the system as shown in Figure 4 (Pajaziti, 1998). The basic concept of this scheme is that the NN controller acts as the inverse of the plant so that the robot response q tracks q^d and F_I tracks F_I^d with minimal distortion. So the NN controller is updated on-line to account for the uncertainties in the robot dynamics in order to achieve a good tracking performance for tracking position and force simultaneously. The tracking errors $(e,\dot{e},\ddot{e},e_F)$ are used to update the NN weights where the inputs in NN are position and error of position, velocity and error of velocity, acceleration and error of acceleration, and interactive forces and error of interactive forces of object. In proposed scheme is used multilayer feedforward neural network with backpropagation updating algorithms.

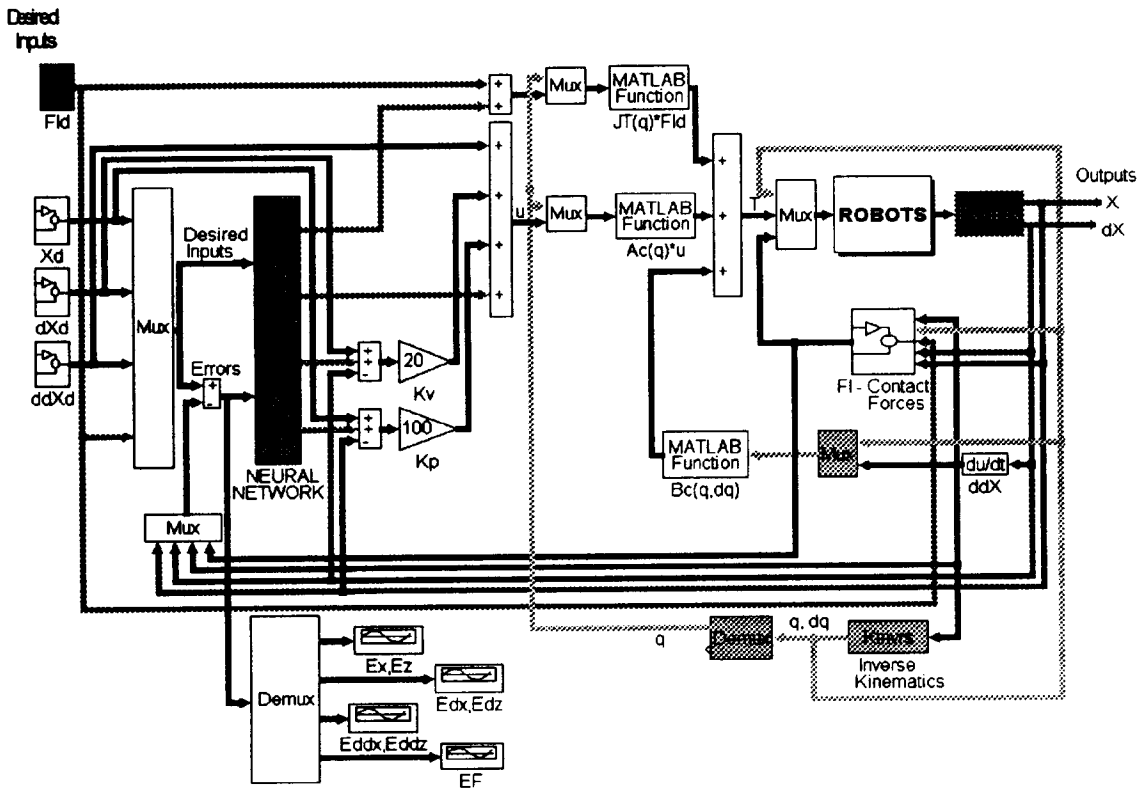


Fig. 4 Block diagram of NN control structure

4.1 The structure of the neural network and the algorithm of learning

The standard feedforward neural network in Figure 5 is proposed as the controller that yields results all confirming the superiority of the neural network controllers over the computed torque method controller (Tao *et al.*, 1993; Jung *et al.*, 1995 and Pajaziti *at al.*, 1998). It is composed of three layers, an input layer, a non-linear hidden layer and a linear output layer. Each robot has three rotational joints. We use the input signals considering the position, velocity and acceleration of object and interactive forces along and friction forces along x and z axis. Thus the input signals of the input layer, during the control cycle, are $X=(p_0^d)^T(\dot{p}_0^d)^T(F_{Ix}^d)^T(F_{Iz}^d)^T{}^T$. The inputs are multiplied by weights w_{ij}^1 and summed at each hidden node, then the nodes are activated through a non-linear function, $f(\cdot)$ called a sigmoid function which is bounded between 0 and 1:

$$f(\cdot)=\frac{1}{1+exp(-(\cdot))} \tag{21}$$

The activated signals are weighted w_{jk}^2 and summed at each output node. Thus, the outputs at a linear output node f_n can be calculated from inputs as follows:

$$\phi_n = \left[\sum_{j=1}^{n_H} w_{jk}^2 \left[1+exp\left(-\left(\sum_{i=1}^{n_i} x_i w_{ij}^1 \right) + b_j^1 \right) \right]^{-1} \right] + b_k^2 \qquad (22)$$

where n_i is a number of inputs, n_H is a number of hidden units, x_i is the i-th input of vector , w_{ij}^1 is the first layer weight between i-th input and j-th hidden unit, $^2_{jk}$ is the second layer weight between j-th hidden and k-th output unit. The NN outputs are (f_p f_v f_a $_F$) which serve as inputs to the closed loop robot system.

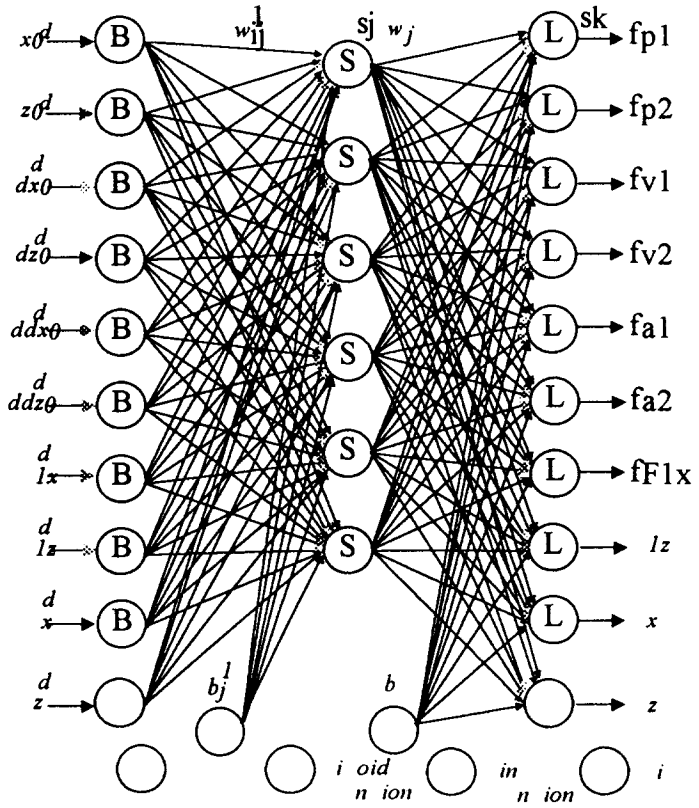


Fig. 5 *Multilayered feedforward neural network structure*

The weight w_{ij}^1 and w_{jk}^2, biases b_j^1 and b_k^2 at g training cycle is updated with the first order difference equation:

$$w_{ij}^1(\gamma+1) = w_{ij}^1(\gamma) + \alpha \Delta w_{ij}^1(\gamma) \qquad (23)$$

$$w_{jk}^2(\gamma+1) = w_{jk}^2(\gamma) + \alpha \Delta w_{jk}^2(\gamma) \qquad (24)$$

(25)

$$b_j^1(\gamma+1)=b_j^1(\gamma)+\alpha\Delta b_j^1(\gamma)$$
$$b_k^2\ \gamma+\ \ =b_k^2\ \gamma\ +\alpha\Delta b_k^2\ \gamma \tag{26}$$

where a is constant coefficient momentum and D(·) is gradient rule for weights and biases.

The weight updating law minimizes the objective function, which is a quadratic function $F(E)$ of tracking position and force error e:

$$F(E)=\frac{1}{2}(E^T E) \tag{27}$$

where: $\mathrm{E}=\left[\mathrm{e}^{\mathrm{T}}\ \mathrm{e}^{\mathrm{T}}\ \mathrm{e}^{\mathrm{T}}\ \mathrm{e}_F^T\right]^{\mathrm{T}}$, $e=(p_0^d-p_0)$, $\dot{e}=(\dot{p}_0^d-\dot{p}_0)$, $\ddot{e}=(\ddot{p}_0^d-\ddot{p}_0)$ and $e_F=(F_I^d-F_I)$

The gradient of $F(E)$ is:

$$\frac{\mathrm{F}\ \mathrm{E}}{\mathrm{w}}\quad\frac{\mathrm{E}^T}{\mathrm{w}}\mathrm{E}\qquad\frac{\mathrm{p}_0^T}{\mathrm{w}}\frac{\mathrm{p}_0^T}{\mathrm{w}}\frac{\mathrm{p}_0^T}{\mathrm{w}}\frac{\mathrm{F}_I^T}{\mathrm{w}}\ \mathrm{E} \tag{28}$$

In Figure 5 outputs of NN (f_p f_v f_a f_F) of position and force control are functions of w so:

$$\frac{E^T}{w}=-\frac{p_0^T}{\frac{T}{p}}\frac{T}{\frac{p}{w}}\frac{p_0^T}{\frac{T}{v}}\frac{T}{\frac{v}{w}}\frac{p_0^T}{\frac{T}{a}}\frac{T}{\frac{a}{w}}\frac{F_I^T}{\frac{T}{F}}\frac{T}{\frac{F}{w}} \tag{29}$$

Evaluation of the derivatives:

$$\frac{\partial p^{\mathrm{T}}}{\partial\ \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{p}}}\frac{\partial p^{\mathrm{T}}}{\partial\ \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{v}}}\frac{\partial p^{\mathrm{T}}}{\partial\ \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{a}}}\frac{\partial F_{\mathrm{I}}^{\mathrm{T}}}{\partial\ \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{F}}} \tag{30}$$

require the knowledge of the plant model. Clearly the plant dynamics is not precisely known in our case.

Here we proposed to use the ideal linear position and force error equations:

$$\ddot{e}+K_{\dot{e}}\dot{e}+K_e e=0, \tag{31}$$
$$F_I^d-F_I=0$$

where p^{d} is replaced by f_p, p^d with f_v, $\ddot{p}_0^d$ with f_a and F_I^d with f_F:

$$(\phi_a - \ddot{p}_0) + K_v(\phi_v - \dot{p}_0) + K_P(\phi_P - p_0) = 0, \qquad (32)$$

$$f_F - F_I = 0$$

as an approximation to the plant dynamics. The most significant consequence of this approximation is that we have a linear plant model, which provides simple results to (29). In view of (30), we have:

$$\frac{F}{\quad} \qquad \frac{T}{p} \; \frac{T}{v} \; \frac{T}{a} \; \frac{T}{F} \qquad T \quad T \qquad T \qquad T \qquad \frac{T}{F}^{T} \qquad (33)$$

$$\text{here: } J = \begin{matrix} \frac{p_0}{f_p} & \frac{p_0}{f_v} & \frac{p_0}{f_a} & \frac{p_0}{f_F} \\ \frac{p_0}{f_p} & \frac{p_0}{f_v} & \frac{p_0}{f_a} & \frac{p_0}{f_F} \\ \frac{p_0}{f_p} & \frac{p_0}{f_v} & \frac{p_0}{f_a} & \frac{p_0}{f_F} \\ \frac{F_I}{f_p} & \frac{F_I}{f_v} & \frac{F_I}{f_a} & \frac{F_I}{f_F} \end{matrix} = f(PD)$$

J is the Jacobian for the plant, which depends only on PD-gains (see equation (31)). The gradient rule for weight update is:

$$\Delta w(\gamma + 1) = -\eta \frac{\partial F}{\partial w} + \alpha \Delta w(\gamma) \qquad (34)$$

where η is a constant learning rate (update rate) and a is the momentum coefficient both selected in the range $0 < (h,a) < 1$. Further evaluation of the gradients in (33) using (22) yields the following backpropagation algorithm:

$$\frac{1}{ij}(\quad 1) \qquad {}_j(1 \quad {}_j) \; {}_i \sum_{k\ 1}^{n_o} {}_k \; \frac{2}{jk} \qquad \frac{1}{ij}( ) \qquad (35)$$

$$\Delta w_{jk}^2(\gamma + 1) = \eta \, v_k \, s_j + \alpha \, \Delta w_{jk}^2(\gamma) \qquad (36)$$

$$\frac{1}{j}(\quad 1) \qquad {}_j(1 \quad {}_j) \sum_{k\ 1}^{n_o} {}_k \; \frac{2}{jk} \qquad \frac{1}{j}( ) \qquad (37)$$

$$\Delta b_k^2(\gamma+1) = \eta v_k + \alpha \Delta b_k^2(\gamma) \tag{38}$$

$$s_j = \left[1 + \exp\left(-\sum_{i=1}^{n_i} x_i w_{ij}^1 + b_j^1\right)\right]^{-1} \tag{39}$$

$$s_k = \sum_{j=1}^{n_H} s_j w_{jk}^2 + b_k^2 \tag{40}$$

where n_o is the number of outputs from NN, s_j is the output of j-th hidden unit, s_k is the output of k-th output layer unit and v_k is the k-th element of vector v where (for position and force control) $v = [J^T \; e^T \; \dot{e}^T \; \ddot{e}^T \; e_F^T]^T$.

5 Computer simulations

The purpose of this section is to demonstrate the effectiveness of the proposed neural network controllers to the multiple robotic arms from computer simulations (Pajaziti , 1998). This is illustrated by solving the position and force control problem for a closed-chain robotics system consisting of two three-link planar manipulators grasping a common object as depicted in Figure 6.

The parameters of the manipulators are listed in Table 1. Further, the radius and the mass of the object are 0.5 m and 2 kg, respectively.

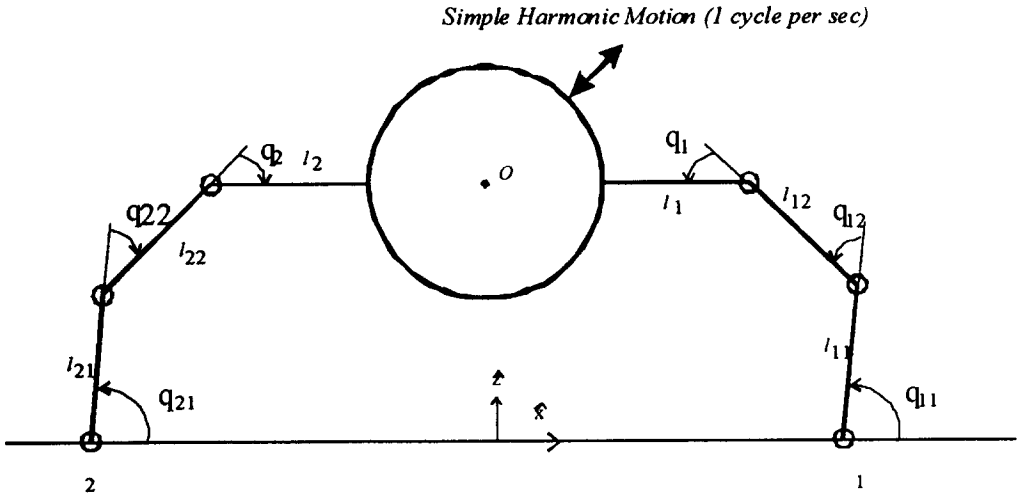


Fig. 6 Two three-link manipulators with revolute joints grasping an object and performing a simple harmonic motion

Table 1 Parameters of the manipulators for simulations

	Link length (m)			Link masses (kg)			Initial states (^{0})		
	l	l	l	m	m	m	(0)	(0)	(0)
Manipulator 1	1	1	1	1	1	1	85	50	45
Manipulator 2	1	1	1	1	1	1	85	-40	-45

In order to evaluate the proposed algorithm developed in Section 4 an example has been selected with BP controller.

5.1 Example

The initial position of the object expressed in the inertial coordinate frame is:

$$(x_0^d, y_0^d, z_0^d) \quad (0, 0, p_0^z) \tag{41}$$

with p_0^z $1\,0$ m. The object is planned to travel in a straight-line simple harmonic motion with equal accelerations and velocities in x and z directions and without rotation as depicted in Figure 6. This motion is 0.3 m in magnitude and 1 *circle per second* in frequency. The planned motion for the object expressed in the inertial coordinate frame is:

$$p_0^i = [-0.3 \cdot sin(2\pi \cdot t(i)), 0, p_0^z - 0.3 \cdot sin(2\pi \cdot t(i))]^T \tag{42}$$

where $t(i)$ is the time at the i-th sampling point. The friction coefficient, μ, between each link of manipulator is assumed to be 0.1 and the sampling time (Δt) in simulation process is 1 *ms*.

In order to remove the redundancy of the manipulators the joint variables of the planar manipulators are specified as follows:

$$= q_{i1} \quad q_{i1}+q_{i2} \quad q_{i1}+q_{i2}+q_{i3} \quad , i=1,2 \tag{43}$$

The joint accelerations and the manipulator end-effector accelerations are related by equation given in Section 2, for given particular trajectory.

We used the equations from Section 2, which relates the position, velocity and acceleration of end-effector to the joint coordinates. For given particular trajectory, the joint coordinates, velocities and accelerations of two manipulators are shown in Figures 7, 9 and 11 for robot 1 and in Figures 8, 10 and 12 for robot 2, respectively.

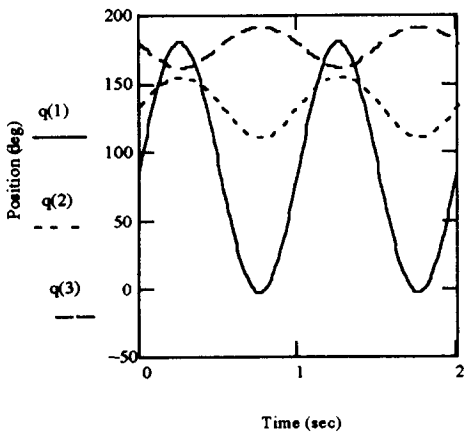


Fig. 7 Joint coordinates for robot 1

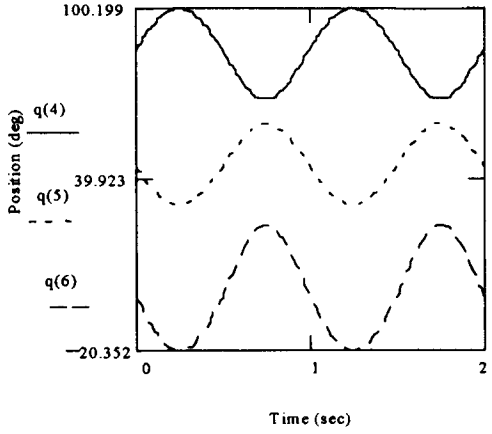


Fig. 8 Joint coordinates for robot 2

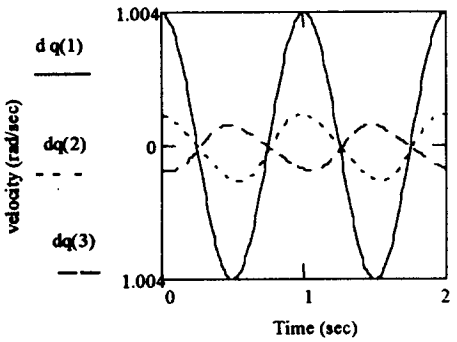


Fig. 9 Joint velocities for robot 1

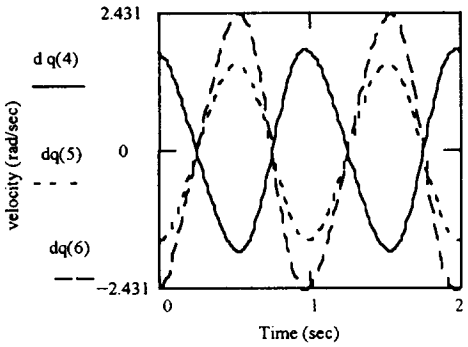


Fig. 10 Joint velocities for robot 2

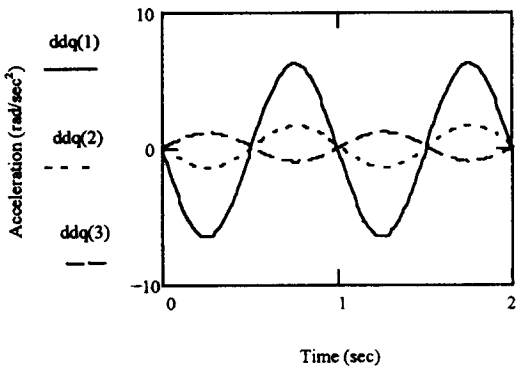


Fig. 11 Joint accelerations for robot 1

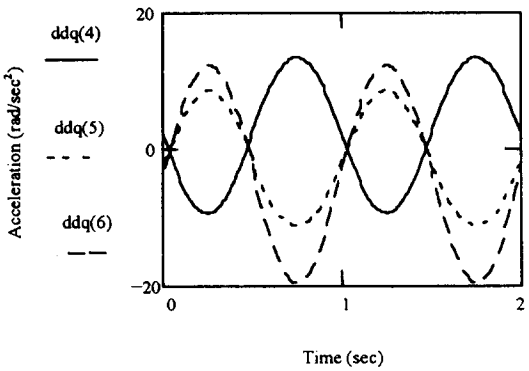


Fig. 12 Joint accelerations for robot 2

Block diagram of neural network control structure as depicted in Figure 4 was used for simulations.

The simulated contact forces formulated in Section 2 are adopted into the simulation. The gain matrices $\boldsymbol{K}_p$ and $\boldsymbol{K}_v$ are defined as:

$$K_P = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix} \text{ and } K_V = \begin{bmatrix} 20 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix}.$$

The desired value for the critical contact force is set to be 80 *Newtons*. The two robots are required to move the object from the initial position to the final position along the desired trajectory for 2 seconds, while maintaining the desired contact force on the object.

First, the basic principle of position and force control scheme supplied by PD controller that is based on joint moment control is simulated. The dynamics parameters are calculated on-line.

This is to verify the control law of equation (17). Figures 13, 14 and 15 show the position, velocity and acceleration errors of the object along x and z direction, respectively.

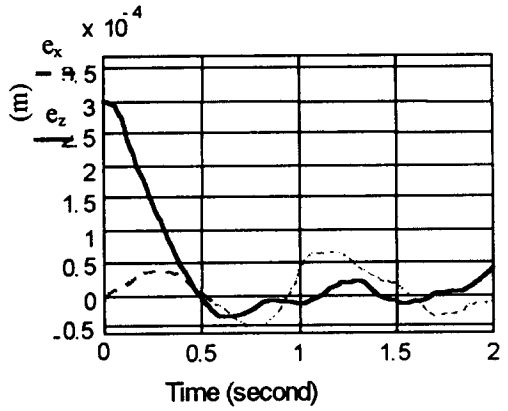


Fig. 13 Position errors (model with PD-gains)

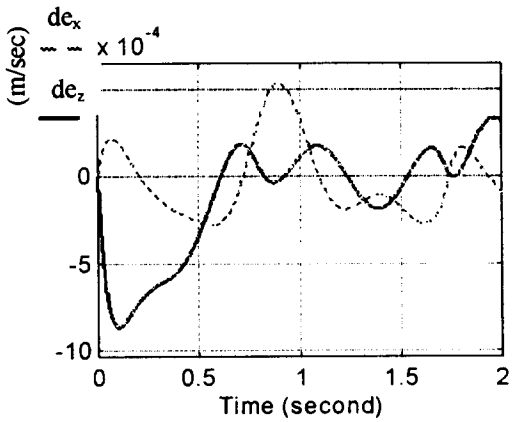


Fig. 14 7Velocity errors (model with PD-gains)

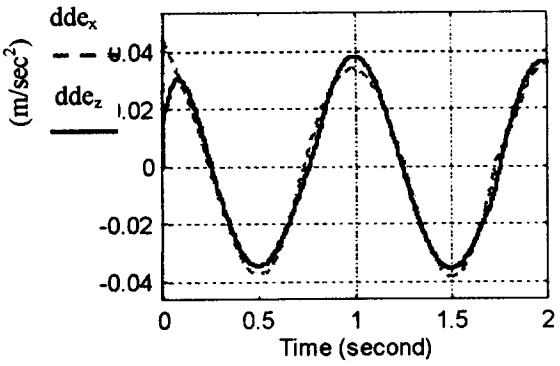


Fig. 15 Acceleration errors (model with PD-gains)

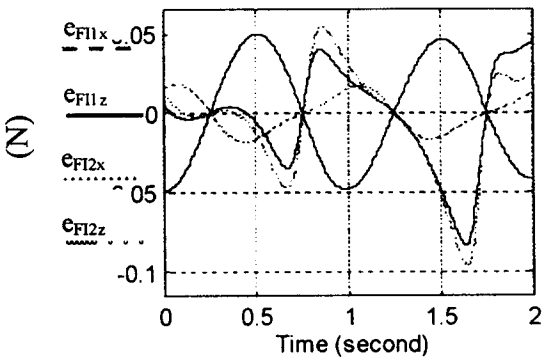


Fig. 16 Interactive force errors (model with PD-gains)

Figure 16 shows the contact force errors along the x and z direction, for robot 1 and robot 2, respectively. It is seen that both position and force converge to the desired values. Thus, the simultaneous position and contact force control is achieved when the dynamic model is known exactly.

Second, the control scheme presented in Figure 4 where the NN controller acts as the inverse of the plant to account for the uncertainties in multiple robot dynamics. The value of update rate is η=0.0015.

The tracking position, velocity and acceleration errors are shown in Figures 17, 18 and 19 along x and z direction, respectively.

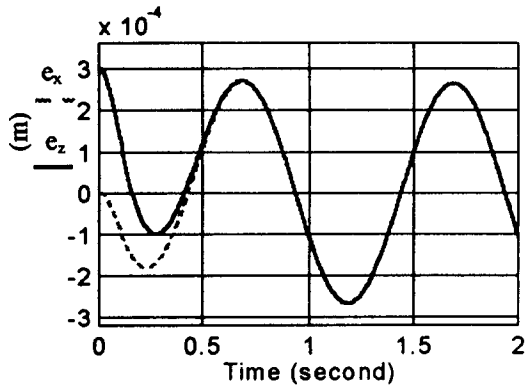


Fig. 17 Position errors with neural control

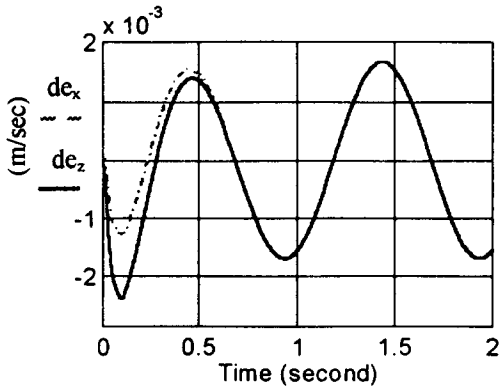


Fig. 18 Velocity errors with neural control

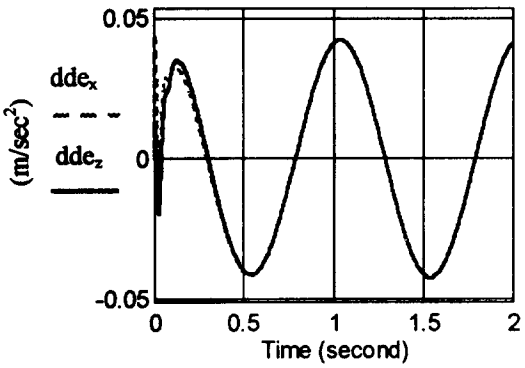


Fig. 19 Acceleration errors with neural control

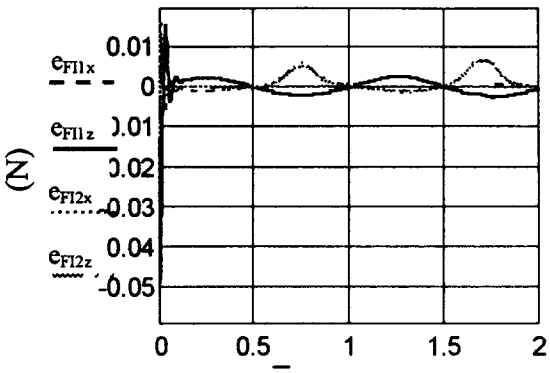


Fig. 20 Interactive force errors with neural control

Figure 20 shows the interactive force tracking errors along the x and z direction, for robot 1 and robot 2, respectively.

It is clear that inverse control structure converges faster with better accuracy than basic principle scheme.

Third, consider the case where the model is not known exactly due to uncertainties of the dynamic model where desired model $(\hat{A}_0, \hat{b}_0)$ relate to the

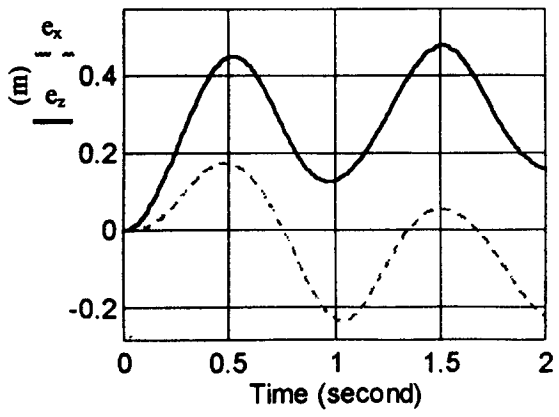


Fig. 21 Position errors (uncertain model)

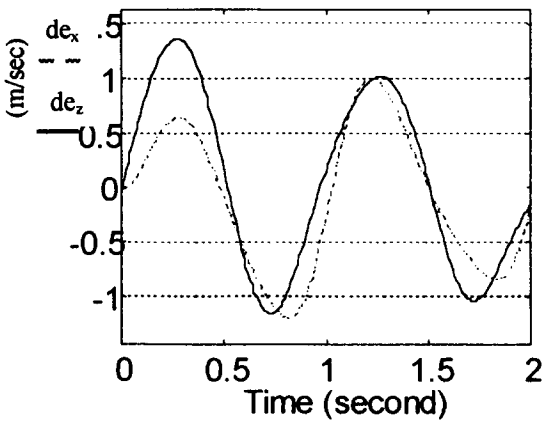


Fig. 22 Velocity errors (uncertain model)

actual model (A_0, b_0) by half value. Once again the control law (17) of the control scheme presented in Figure 3 is used. Figures 21, 22 and 23 show the position, velocity and acceleration errors along the x and z directions.Figure 24 shows the interactive force tracking errors along the x and z direction, for robot 1 and robot 2, respectively.

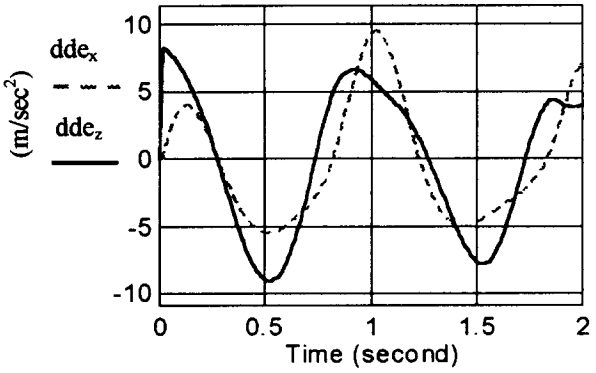


Fig. 23 Acceleration errors (uncertain model)

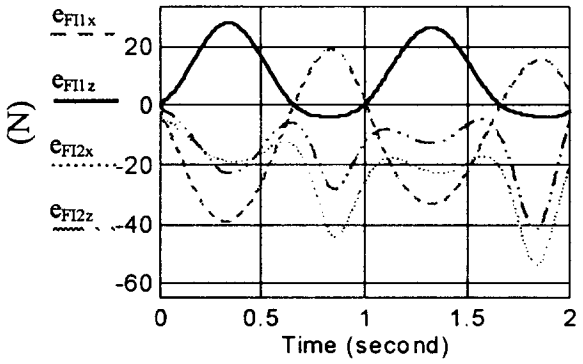


Fig. 24 Interactive force errors (uncertain model)

It is seen that this case results in large position and force errors since the control law does not take the model uncertainties into account.

Fourth, the control scheme presented in Figure 4 was used to control the position and force errors. Figures 25, 26 and 27 show the position, velocity and acceleration errors along the x and z directions taking into account the model uncertainties with NN controller.

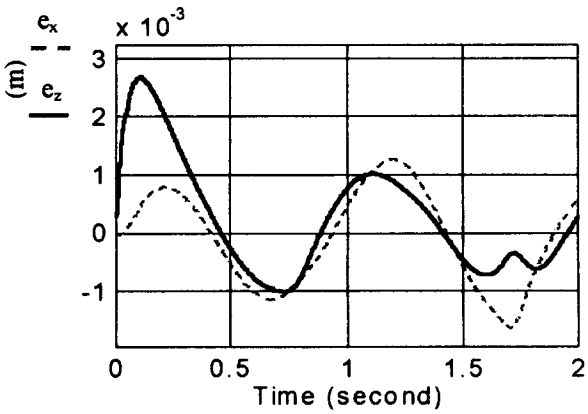


Fig. 25 Position errors with neural control (half model)

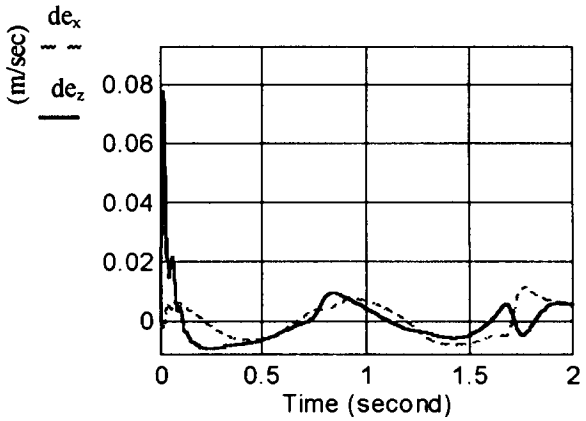


Fig. 26 Velocity errors with neural control (half model)

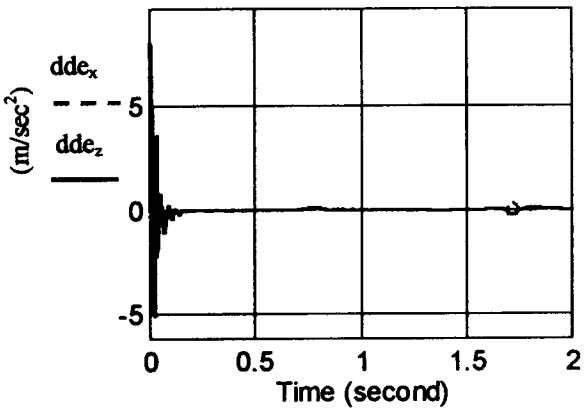


Fig. 27 Acceleration errors with neural control (half model)

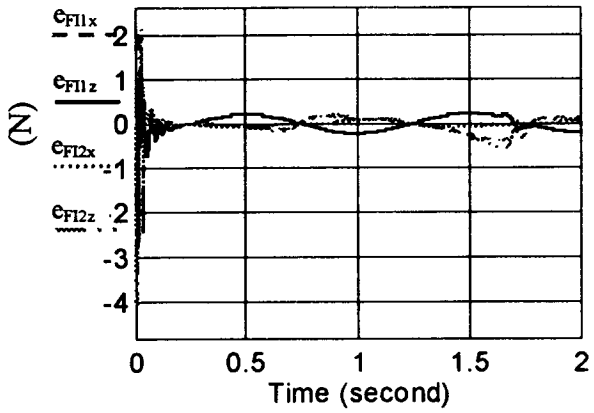


Fig. 28 Interactive force errors with neural control (half model)

Figure 28 shows the force errors along the x and z direction for robot 1 and robot 2, respectively. The value of update rate in this case is $\eta = 0.002$.

From these figures, because the errors are so tiny (only about 0.5% of the magnitude of the planned simple harmonic motion) it can be seen that these two robots can maintain the contacts and grasp the object securely.

As shown in Figures 8.25, 8.26, 8.27 and 8.28, the absolute values of the errors are less than 1% of the desired values. This indicates that the neural network control scheme is indeed working well for resolving the problem of the closed-chain robotic system even though only the half-dynamic model is applied in control.

6 Conclusions

The NN compensator structure for computed-torque control of the Multiple Robotic Systems (MRSs) is very efficient. After the task is repeated only few times, the NN is well trained so that the desired tracking performance can be achieved.

The network structure is simple which is suitable for real time control purpose of MRSs.

This control technique does not require knowledge of the bounds of uncertainties of the dynamic model.

The advantages of the presented controllers in the task space are evident in the fact that the controllers operate in the nature system of sensors (camera, force sensor etc.) and thus allows a simple improvement of, for instance, the force controller. Thus, it can be implemented to control a more general class of dynamic systems whose model is unknown.

For the MRAs control scheme to be useful in industry, research should be done on dynamic performance over a range of operating conditions.

References

Jung S. and T.C. Hsia (1995). A New Neural Network Control Technique for Robot Manipulators. *Robotica*, Volume 13, pp. 477-484.

Pajaziti A. and P. Kopacek (1996). A Neural Network Scheme for Control a Closed-Chain Multiple Robot System. *Proceedings of the 5th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria Region*, pp. 573-577.

Pajaziti A., I. Gojani and A. Shala (1998). Using a New Neural Network Tracking Control Scheme for Robot Arm. *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems INES'98*, pp. 435-440.

Pajaziti A. (1998). Application of Neural Network Computing Controllers to Multiple Robotic Systems. *Doctoral dissertation*, Technical University Vienna, Austria.

Paljug E. and X. Yun and V. Kumar (1994). Control of Rolling Contacts in Multi-Arm Manipulation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 4, pp. 441-452.

Tao J.M. and J.Y.S. Luh (1993). Application of Neural Network with Real-time Training to Robust Position/Force Control of Multiple Robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 142-148.

Wu C.M., B.C. Jiang and C.H. Wu (1993). Using Neural Networks for Robot Positioning Control. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 10, No. 3, pp. 153-168.

Yabuta T. and T. Yamada (1990). Possibility of Neural Networks Controller for Robot Manipulators. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1686-1691.

Koordinierung der Forschung der in Automatisierung tätigen Institute an Österreichs Universitäten

Dourdoumas, N., Jörgl, H.P., Kopacek, P.,
Schlacher, K., Troch, I., und Weinmann, A.

In der Gruppe der obgenannten Autoren wurde mehrfach der Wunsch geäußert, die Forschungsaktivitäten zu koordinieren. Der letztgenannte Autor hat dabei die Redaktionsarbeit übernommen.

(Koordinierung in der Lehre erübrigt sich wegen der räumlichen Trennung in mehreren Städten oder der Zuständigkeit für verschiedene Studienrichtungen durchaus hoher Studentenzahl.)

Die Koordinierung wird in nachstehender tabellarischer Übersicht präsentiert.

Die Koordinierung wurde mit den Ziel verfolgt, nicht nur mittelfristig Überschneidungen zu vermeiden, sondern darüber hinaus Schwerpunkte zu bilden und Kooperationen zu fördern.

Kooperationen sind innerhalb der Automatisierungsinstitute sinnvoll, aber auch zu außenstehenden Instituten erwünscht; solchen, die sich durch diese Darlegung angesprochen fühlen.

Die alphabetisch nach Institutsleitern geordnete Liste der Fachgebiete in Forschung lautet

Institut/Abteilung	Universität/Ort	Leiter	Arbeitsgebiete
Regelungstechnik	Technische Universität Graz Fakultät Elektrotechnik	Dourdoumas	Computer Aided Control and System Design, Simulation Dynamischer Systeme, Regelungstheorie, Regelung industrieller Prozesse, Neue Medien für die Ausbildung in System- und Regelungstechnik

Maschinen- und Prozeßauto-matisierung	Technische Universität Wien Fakultät Maschinenbau	Jörgl	Radial basis functions, Wavelets an nichtlinearen Systemen, Modell-basierte adaptive und prädiktive Regelung nichtlinearer Systeme, Fuzzy MIMO
Handhabungsgeräte und Robotertechnik	Technische Universität Wien Fakultät Maschinenbau	Kopacek	Robotersysteme, Mobile Roboter (medizinische Anwendung, Vergnügungsindustrie), Technische Multi-Agenten-Systeme
Regelungstechnik und Elektrische Antriebe	Johannes Kepler Universität Linz	Schlacher	Lineare Entwurfsverfahren (Robuste optimale Regelungen, Mehrgrößenregelungen, H_2, H_∞), Nichtlineare Entwurfsverfahren (Differentialgeometrische und -algebraische Methoden, H_∞-Passivität), Regelung infinitesimaler Systeme, Computeralgebraisierung in der RT Modellbildung f.mechatron.Systeme
Regelungsmathematik und Simulation	Technische Universität Wien Technisch-Naturwissen-schaftliche Fakultät	Troch	Modellbildung und Simulation in Regelungs- und Automatisierungstechnik Optimale Regelungen und Steuerungen, Stabilität, Kontrolltheorie, Anwendungen in der Robotik und Medizin
Elektrische Regelungstechnik	Technische Universität Wien Fakultät Elektrotechnik	Weinmann	Robust Control (H_∞...), Hyperstabilität, Neuronale Regler, Komplexe Optimierung großer Systeme unter mehrfachen Bedingungen, Identifikation unter komplexen Nebenbedingungen

5. IFAC Workshop „Intelligente Produktionssysteme (Intelligent Manufacturing Systems – IMS´98)“

Gramado, Brasilien

9. – 11. November 1998

Dieses 5. Workshop in der Serie über intelligente Produktionssysteme gab die Möglichkeit der Feststellung des Ist-Zustandes, zur Präsentation neuer Ergebnisse und zur Diskussion künftiger Entwicklungsrichtungen. Intelligente Produktionssysteme unterlagen, insbesonders in den letzten Jahren, einem dramatischen Wandel. Ausgehend vom klassischen Computer Integrated Manufacturing – CIM über Einführung von Methoden der Künstlichen Intelligenz in die klassischen CIM-Komponenten geht die Entwicklung in Richtung holonische Systeme und Mehr-Agenten-Systeme (MAS). Die Bausteine dieser Systeme - Holone und Agenten – weisen eine hohe Eigenintelligenz auf und können darüberhinaus miteinander in kooperativer Weise kommunizieren. Sie sind in der Lage eigenständig komplexe Aufgaben zu lösen.

Am IMS´98 nahmen 84 Teilnehmer aus 15 Ländern (ungefähr 50% aus Brasilien) teil. Die Mitglieder des Programm Komitees wählten aus 79 eingesandten Beiträgen 56 aus, welche auch präsentiert wurden. Die Paper behandelten sowohl Grundlagen von IMS - wie neuronale Netze, Petrinetze, Holonics, objektorientierte Werkzeuge, Logistik, Modellbildung und Regelung als auch Werkzeuge - wie Roboter, Transport- und Speichersysteme. Leider wurden nur in einigen wenigen Papers tatsächliche Anwendungen präsentiert. Das Programm wurde durch Posterpräsentationen und zwei eingeladene Vorträge abgerundet.

Das Workshop war bestens organisiert und wurde durch ein Begleitprogramm abgerundet.

Erste österreichisch-slowakische Automatisierungstage

Smolenice Castle

12. und 13. März 1999

Die ersten österreichisch-slowakischen Automatisierungstage fanden am 12. und 13. März 1999 im Kongreßzentrum Smolenice Castle in der Slowakei statt. Organisiert wurde die Veranstaltung von österreichischer Seite durch die Technische Universität Wien und die Österreichische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik. Von slowakischer Seite zeichneten die slowakische Akademie der Wissenschaften sowie die Technischen Universitäten Bratislava und Kosice verantwortlich.

Zweck dieser bilateralen Veranstaltung war es – wie auch bei den vorgehenden in Rumänien, Bulgarien und der Tschechischen Republik – Wissenschaftler, Forscher und Industrieangehörige zusammenzubringen und gegenseitig über neue Entwicklungen in den Ländern auf dem ganzen Gebiet der Automatisierungstechnik zu berichten und Erfahrungen auszutauschen. Die Eröffnung wurde vom Präsidenten der slowakischen Akademie, vom Rektor der Technischen Universität Bratislava, vom österreichischen Handelsdelegierten in der Slowakei und vom Prorektor der Technischen Universität Wien vorgenommen.

In vier Übersichtsvorträgen -- jeweils zwei aus beiden Ländern – wurde der derzeitige Stand der Automatisierungstechnik in beiden Ländern dargestellt sowie zukünftige Entwicklungen aufgezeigt. Nach dem Muster der vorher abgehaltenen Automatisierungstage folgten Beiträge über ausgewählte Themen von Repräsentanten der Wissenschaft und der Industrie beider Länder. Von österreichischer Seite wurden fünf Fachvorträge gehalten. Ergänzt wurde das Programm durch einen Erfahrungsbericht von Vertretern der Technischen Universität Wien mit EU-Projekten, ein Abriß über die Internationalisierungsbestrebungen der Technischen Universität Wien durch Prorektor Matthias sowie einer Darstellung von Unterstützungsmaßnahmen der österreichischen Bundesregierung für die Zusammenarbeit zwischen Universitäten und der österreichischen Industrie, insbesondere die Kompetenzzentrumsinitiative K+.

Diese ersten österreichisch-slowakischen Automatisierungstage reihen sich würdig in die Vergangenheit ein und stellen sicher einen Beitrag zur Vertiefung der Beziehungen zwischen Fachleuten auf automatisierungstechnischem Gebiet beider Länder dar. Sie bilden – hoffentlich – eine Keimzelle für weitere geschäftliche und wissenschaftliche Beziehungen.

Lehr- und Übungsbuch Automatisierungs- und Prozeßleittechnik

Eine Einführung für Ingenieure und Wirtschaftsingenieure

Jürgen Bergmann

382 Seiten mit 242 Bildern und CD-ROM
ISBN 3-446-19569-6
Carl Hanser Verlag

Der Einfluß von Automatisierungs- und Prozeßleitsystemen auf den wirtschaftlichen und organisatorischen Sektor wächst ständig. Das hat zur Folge, daß technisch orientierte Betriebswirtschaftler und Ingenieure aus den verschiedenen Fachrichtungen sich mit Automatisierungstechnikern verständigen müssen. Dazu müssen jedoch die Grundsätze von deren spezieller Modellwelt mit ihren Beschreibungsformen und Lösungsalgorithmen verstanden und ein gemeinsames Vokabular gefunden werden.

Der Autor stellt sich der schwierigen Aufgabe dieses ausufernde Fachgebiet in knapper Weise darzustellen. Genau an diesem Punkt setzt der Autor an. Durch eine gezielte Stoff- und Problemauswahl vermittelt er Studenten der (Wirtschafts-) Ingenieurwissenschaften die Grundstrukturen für die Materie. Er geht enzyklopädisch auf die Teilgebiete Meßtechnik, Kommunikationstechnik, Steuerungs-, Regelungs- und Stelltechnik ein. Der klassischen Stelltechnik sowie der Steuerungstechnik wird zu breiter Raum zu Ungunsten der Kommunikations- und Informationstechnik gewidmet. Anzumerken wäre darüberhinaus das Fehlen moderner Werkzeuge der Automatisierungstechnik, wie beispielsweise künstliche Intelligenz.

Die beiliegende CD-ROM enthält ein simuliertes und visualisiertes Prozeßautomatisierungssystem anhand dessen der Leser den dargestellten Stoff teilweise testen kann.

P. Kopacek

Prozeßautomatisierung

G.-H. Schildt und W. Kastner

Springer-Verlag, Wien New York, 1998
270 Seiten und 229 Abbildungen

Der Buchtitel benennt ein sehr umfangreiches Gebiet; umfaßt es doch Fertigungs-technik, Computertechnik in Hard- und Software, Echtzeitdatenverarbeitung, Regelungstechnik, Redundanz, Zuverlässigkeit und anderes.

Die Zielsetzung, eine solch beachtliche Fülle in angemessenem Buchumfang unterzubringen, entspricht keinem leichten Unterfangen. Den Autoren ist es aber sicher gelungen, die wesentlichen Fakten herauszuarbeiten und unkompliziert darzustellen.

Erklärt werden im wesentlichen Phänomene und Fakten. Für Entwurfs- oder Syntheseprobleme reicht der Umfang nicht aus.

Leser, die an einer derartigen Breite interessiert sind, werden sicher an dem Buch Gefallen finden.

A. Weinmann

Mobile Roboter

Vom einfachen Experiment zur Künstlichen Intelligenz

J. Altenburg, U. Altenburg

264 Seiten mit 120 Bildern und CD-ROM
ISBN 3-446-21121-7
Carl Hanser Verlag

Gerade in jüngster Zeit gewinnen mobile Roboter zunehmend an Bedeutung. Während die Raumfahrt sich ihrer schon seit vielen Jahren bedient, hat sie sich in den anderen Bereichen der Wissenschaft und Technik nur sehr langsam durchgesetzt. Schuld daran waren unter anderem die hohen Entwicklungskosten und der hohe technische Aufwand zur Realisierung.
Die Autoren stellen in dem vorliegenden Buch den komplexen Aufbau von mobilen Minirobotern leicht verständlich dar. Insbesondere Studenten und Auszubildende profitieren von dem gelungenen Versuch, die mit den Robotern verbundenen Kosten zu begrenzen. Eine große Bandbreite mobiler Roboter und genaue Aufbauanleitungen sind anschaulich dargestellt. Zudem haben die Autoren dem Buch eine CD-ROM beigefügt, die Softwaretools für die Roboterprogrammierung, Simulationsdaten der angeführten Beispielschaltungen und noch einiges mehr enthält. Nicht zuletzt die spielerische Form der Vermittlung machen dieses Buch zu einem spannenden Bastelbuch.

P. Kopacek

Taschenbuch der MESSTECHNIK

Herausgegeber
J. Hoffmann

635 Seiten mit 473 Bildern und 60 Tabellen
ISBN 3-446-18834-7
Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 1998

Die moderne Meßtechnik ist durch immer kürzere Innovationszyklen geprägt. Das betrifft vorallem die Sensorik und die rechnergestützte Meßwertverarbeitung. Die moderne Meßtechnik bildet eine der Grundlagen der Automatisierungstechnik.

Kenntnisse auf diesem Gebiet sind daher heute auf fast allen, insbesondere den Ingenieur- und naturwissenschaftlichen Fachgebieten erforderlich. Dieses Taschenbuch wendet sich daher an einen entsprechend großen Leserkreis: Studenten, Schüler, Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker, die im Studium, Beruf oder Weiterbildung mit meßtechnischen Aufgabenstellungen konfrontiert werden.

Nach den Grundlagen der Meßtechnik folgen die elektrische und nichtelektrische Meßtechnik, die Meßelektronik, die Rechnerkopplung sowie die Meßwerkausgabe und –beurteilung. Die Abschnitte zur Sensorik sind dabei nach den zu messenden Größen gegliedert. Da es derzeit unmöglich ist auf einer beschränkten Seitenanzahl das Gesamtgebiet detailliert darzustellen, wurde daher Wert darauf gelegt Grundprinzipien und typisch in der Praxis häufig anzutreffende Lösungen darzustellen. Beschränkungen wurden hinsichtlich bei der nahezu unüberschaubaren Vielfalt an Variationen meßtechnischer Lösungen gemacht. Für diese wird auf ein umfangreiches, fachlich gegliedertes Literaturverzeichnis verwiesen.

Dieses Standardwerk der Meßtechnik ist in der vorliegenden Auflage der vorgenannten Zielgruppe wärmstens zu empfehlen.

P. Kopacek

Simulationstechnik

Ulrich Kramer, Mihaela Neculau

374 Seiten, 249 s/w-Abb.
ISBN 3-446-19235-2
September 1998
Carl Hanser Verlag

Mit den Methoden der Simulationstechnik ist es möglich, reale Situationen und Entwicklungen mit Hilfe eines Computers nachzuahmen. In der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie bei der Automatisierung von Prozessen in der Fertigung können so das statische und dynamische Verhalten kritischer oder unbekannter Prozesse risikolos getestet werden. Insbesondere in der Aus- und Weiterbildung ist die Simulationstechnik zu einem unerläßlichen Instrument geworden.

Dieses Buch bietet einen umfangreichen Überblick über Computersimulationen und ist gleichermaßen als Einstiegs- wie als Nachschlagewerk für den mathematisch interessierten Anwender geeignet. Neben einer einleitenden Beschreibung von Beispielen der Modellbildung behandelt das Buch im weiteren den Aufbau verschiedenster Simulationsmodelle, Probleme bei Parameterbestimmung, sowie Untersuchungs- und Auswertungsmethoden. Breiten Raum nimmt auch die Beschreibung von Nutzungsarten und Anwendungsbereichen der Simulationstechnik ein. Zahlreiche Beispiele aus verschiedenen technischen, ökologischen und ökonomischen Anwendungen ergänzen die einzelnen Kapitel. Darüber hinaus werden verschiedene gängige Simulations-Softwarepakete vorgestellt. Alle Simulationsbeispiele sind auf einer mitgelieferten CD-ROM enthalten. Für die meisten Beispiele steht auf dieser CD-ROM ebenfalls eine Demonstrationssoftware zur Verfügung, mit der die Leser auch selbst experimentieren können. Zahlreiche Hinweise auf weiterführende und vertiefende Literatur runden den Inhalt des Buches ab.

Das Buch „Simulationstechnik" eignet sich für Ingenieure und Wissenschafter im Bereich Planung, Forschung und Entwicklung, insbesondere von Steuerungen und Regelungen, von Automatisierungssystemen oder von Fertigungsabläufen - aber auch für Studierende aller technischen, naturwissenschaftlichen und Informatik-Studiengänge.

G. Kronreif

Technische Mechanik der festen und flüssigen Körper

101 Aufgaben mit Lösungen

Franz Ziegler

564 Seiten
ISBN 3-211-83193-2
(3. verbesserte Auflage)
Springer Verlag Wien New York, 1998

Durch die rasante Entwicklung der Technik werden neue Herausforderungen an eine ihrer wichtigsten Grundlagen, nämlich der Mechanik gestellt. An Technischen Universitäten stellt deshalb die Mechanik eine tragende Säule in der Ingenieurausbildung dar, deshalb muß auch in der Lehre, wenn auch mit entsprechender Phasenverschiebung, dem Rechnung getragen werden.

Dieses Lehrbuch bietet eine einheitliche Darstellung der Theorien und der praktischen Entwurfsgrundlagen für nahezu alle Zweige des Maschinenbaus und des Bauingenieurwesens. Für den Studenten sind die dreizehn Abschnitte so angeordnet, daß der natürliche Fluß der Theoreme und der notwendigen Reflexionen gleichzeitig Leitfaden und Anregung bietet. Innerhalb jedes Kapitels wird der Stoff so gegliedert, daß dem Anfänger der Einstieg ermöglicht wird, um dann bis zu einem mittleren, manchmal bis zu einem höheren Niveau vertiefend fortzuschreiten. Die mechanischen Darlegungen einschließlich der Modellbildung sind zwar in sich abgeschlossen, doch sind die Kenntnisse aus der Angewandten Mathematik wie Lineare Algebra und Analysis vom Leser einzubringen.
Über 100 Aufgaben mit vollständigen Lösungen illustrieren die Anwendungen und laden zum Programmieren ein - sowohl zum numerischen wie zum symbolischen Rechnen. Der praktisch tätige Ingenieur findet eine handliche Darlegung der praktikablen Theoreme in Kombination mit illustrativen Beispielen in einer integrierten Darstellung.

Den Ingenieurstudenten Technischer Universitäten, aber auch von Fachhochschulen und etwas eingeschränkt von Höheren Technischen Lehranstalten soll dieses Lehrbuch ein fester Rückhalt während der Einführungsvorlesung sein und hoffentlich nach Überwindung der bekannten Zugangsschwierigkeiten zur Mechanik ein Begleiter im immer anspruchsvoller werdenden Berufsweg werden.

H. Zebedin

Umweltverträgliche Produktgestaltung

Planung, Werkzeuge, Umsetzung, Beispiele

F. Quella

213 Seiten
ISBN 3-89578-090-1
Publicis MCD Verlag Erlangen und München, 1998

Neben dem betrieblichen Umweltschutz mit seiner relativ scharfen Begrenzung auf die Produktion und seine vielen gesetzlichen Regelungen entwickelt sich mit dem produktbezogenen Umweltschutz ein Querschnittsthema, das alle Produktlebensphasen einbezieht. Dabei müssen viel stärker die wirtschaftlichen als die staatlichen Gesetze berücksichtigt werden.

In Anlehnung an die Phasen nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz stellt das Buch grundlegende Konzepte für die einzelnen Produktlebensphasen dar, beschreibt die gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen und stellt ausgewählte Beispiele vor.

Es richtet sich an alle Gruppen, die auf Seite der Hersteller am Produktlebenszyklus beteiligt sind: Manager, Techniker, Kaufleute, ... denn jeder von Ihnen trägt im Rahmen seiner Tätigkeit Verantwortung für die ökologische und ökonomische Qualität der Produkte.

Gerade die erzielten Erfolge machen klar, daß noch mehr für die Umwelt erreicht werden kann - und große Unternehmen tragen hier sicher eine besondere Verantwortung. Das Management des produktbezogenen Umweltschutzes ist aus Industriesicht ein "Management der Kreislaufwirtschaft". Mit diesem Buch sollen eigene Mitarbeiter sowie Kunden, Lieferanten, Geschäftspartner und nicht zuletzt auch andere Unternehmen motivieren, nach umweltverträglichen Lösungen zu suchen.

Das Buch ist als eine erste Einführung in ein Teilgebiet der nachhaltigen Produktgestaltung, welche immer mehr an Bedeutung gewinnt, zu empfehlen.

H. Zebedin

Fachwörterbuch industrielle Elektrotechnik, Energie- und Automatisierungstechnik

Fachwörterbuch
Deutsch / Englisch (Bd. 1)
English / German (Bd. 2)

H. Bezner

607 Seiten / Band 1, ISBN 3-89578-077-4
532 Seiten / Band 2, ISBN 3-89578-077-4
(4. überarb. Auflage)

Publicis MCD Verlag Erlangen und München, 1998

Der neue Titel des bisherigen "Fachwörterbuch Energie - und Automatisierungstechnik" soll deutlich machen, daß dieses Wörterbuch außer Energie - und Automatisierungstechnik auch viele andere Gebiete der Elektrotechnik abdeckt.

Für die 4. Auflage wurde der komplette Datenbestand auf seine Aktualität hin überarbeitet und mit neuen Fachbegriffen ergänzt. Es deckt einschließlich der vielen elektrotechnischen Grundbegriffen auch große Gebiete der industriellen angewandten Elektrotechnik umfassend ab.

Im Vorwort werden diese Quellen , welche für das Erstellen des Fachwörterbuchs notwendig waren aufgelistet. Dabei wurden neben der aktuellen Fachliteratur, nationale und internationale Bestimmungen und Regelwerke (DIN VDE, IEC, EN, BS, ANSI, CEE, ISO) sowie der Datenbestand des Sprachdienstes der Siemens AG genannt. Bestimmungen wie auch Regelwerke sind bei den entsprechenden Begriffen angegeben, Fachgebiete dort, wo ein Begriff oder eine Übersetzung eng mit diesen verbunden ist.

Sowohl das Deutsch/Englisch als auch das English/German Wörterbuch stellt ein Nachschlagwerk für Anwender nicht nur aus dem Bereich der Energie - und Automatisierungstechnik dar, sondern soll auch in der angewandten Elektrotechnik Anwendung finden. Es ist daher sowohl Wissenschaftlern als auch praktisch tätigen Technikern wärmstens zu empfehlen.

H. Zebedin

Application of neural network computing controllers to multiple robotic systems

Dr. Arbnor Pajaziti

Begutachter: O.Univ.Prof. Dr.Dr.h.c.mult. P. Kopacek
O.Univ.Prof. Dr. H. P. Osanna

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Anwendung Künstlicher Neuronaler Netze zur Regelung von Mehrrobotersystemen. Angewandt wird die bekannte „Computer-Torque"-Methode zur Handhabung eines einfachen steifen Objektes mit zwei redundanten Handhabungsgeräten, welche eine geschlossene kinematische Kette mit drei Freiheitsgraden bilden.

Neuronale Netze wurden bereits zur Steuerung und Regelung von Robotern angewandt. Aufgrund ihrer Eigenschaften werden sie auch immer öfter auf Mehrrobotersysteme, welche zukünftig größere Bedeutung erlangen werden, angewandt. Bisher fehlt jedoch im wesentlichen in der Literatur der Vergleich mit konventionellen Regelungen, insbesonders mit adaptiven Regelalgorithmen. Mit dieser Arbeit wird daher versucht die Unterschiede zwischen klassischen Roboterregelungen und Neuronalen Regelungen für Robotersysteme zu vergleichen. Bei der Handhabung eines steifen Objekts mit zwei Robotern treten zusätzliche Probleme auf, die derzeit noch wenig bearbeitet wurden. In dieser Arbeit wird daher versucht dieses Problem aus der übergeordneten Sichtweise Positions- und Kraftregelung zu beleuchten. Der große Vorteil des vorgeschlagenen lernenden Regelungskonzepts ist die Verwendung von Mehrebenen-Perceptronen mit besonderer Topologie, welche eine rasche und robuste lernende Regelung erlauben. Dies wird dadurch erreicht, daß die inversen Modelle der beiden Roboter verwendet werden, wodurch ein online-Training mit Hilfe des Trekking-Fehlers erreicht werden kann. Die Effizienz dieses neuen Zuganges wird an zwei redundanten Robotern mit jeweils drei Freiheitsgraden, welche gemeinsam ein Objekt handhaben, demonstriert. Darüberhinaus werden verschiedene Lernalgorithmen für den Neuronalen Netzregler entwickelt.

Simulationsendergebnisse zeigen, daß das vorgeschlagene neue Regelungskonzept in der Lage ist eine gewisse Kontaktkraft aufrecht zu erhalten und so die gemeinsame Handhabung eines Objekts sicherzustellen.

The European WEEE concept

A Contribution to the Recycling and Re-use of Waste from End-of-Life Electrical and Electronic Equipment in Europe

Dr. Bernd Kopacek, 1999

Begutachter: O.Univ.Prof. Dr. P. H. Osanna
O.Univ.Prof. Dr. H.-B. Matthias

Die Erzeuger elektrischer und elektronischer Produkte sehen sich einem verstärkten Druck seitens der Konsumenten sowie der Regierungen ausgesetzt, ihre Produkte „umweltfreundlicher" zu gestalten. Dies bedeutet die Minimierung des Rohstoff- und Energieeinsatzes sowie Verminderung der Umweltverschmutzung und des Schrottanfalles während des gesamten Produktlebenszyklusses.

Das hier dargestellte gesamteuropäische Konzept für Elektronikschrott-Recycling und nachhaltige Produktentwicklung – WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) - stellt den ersten interdisziplinären, integrativen Gesamtansatz zur Lösung dieses komplexen Problems dar. Die bisher bekannten Einzelaktivitäten auf bestimmten Teilgebieten von Wissenschaftern, Herstellern und Anwendern werden nach Möglichkeit eingebunden und durch neue Ansätze vernetzt.

Dieses neuartige Konzept stützt sich auf zwei Hauptpfeiler:

- Der Entwicklung von Produkten, deren gesamter Lebenszyklus – von der Erzeugung bis zur Entsorgung – durch minimale Umweltbelastung geprägt ist (Ökodesign)
- Eines öko-effizienten Weges zur Schließung des Werkstoff- und Bauteilkreislaufes (End-of-Life Management)

Die WEEE Struktur besteht aus einer Matrix mit vier vertikalen und drei horizontalen Fachgebieten. Die „Kreuzungspunkte" dieser Fachgebiete bieten Ansätze für konkrete, interdisziplinäre Forschungs- Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte.
In dieser Arbeit werden konkrete Vorschläge für erste Realisierungsschritte vorgestellt sowie der Weg zu einer Gesamt-WEEE-Lösung skizziert.

Als erster Realisierungsschritt wird beispielhaft auf den Problemkreis „Automatisierte Demontage elektronischer Produkte" eingegangen. Die neuen Grundideen sind: Weiter- und Wiederverwendung von gebrauchten elektronischen Bauteilen; Bildung von „Demontagefamilien" – Produktgruppen mit gleichen oder ähnlichen Demontageoperationen; Entwicklung eines modularen Hard- und Softwaresystemes zur Realisierung von intelli-genten, flexiblen, (semi-)automatischen Demontagezellen.
An diesem Demonstrationsprojekt wird exemplarisch die Einbindung in nationale und europäische (EU, EUREKA) Projekte gezeigt.
Die Arbeit ist ein Beitrag zur Sicherung der Führungsrolle Europas auf dem immer wichtiger werdenden Gebiet des Elektronikschrott-Recyclings und der nachhaltigen Produktentwicklung.

Vorläufiges Programm des 14. Österreichischen Automatisierungstages

Dienstag, 28. September 1999
10.00 – 16.00 Uhr

Messe Congress Centrum – MCC
Messgelände
A-1020 Wien

Automatisierungstechnik an der Schwelle des 3. Jahrtausends

Die Automatisierungstechnik und hier insbesonders die Produktionsautomatisierung befindet sich in einer dramatischen Umbruchsphase. Infolge der rapid ansteigenden Computerleistung sind Methoden und Verfahren anwendbar, die bisher als nur schwer realisierbar galten. Dies gilt insbesonders für industrielle Anwendungen der Künstlichen Intelligenz, wie beispielsweise in Form von Fuzzy-Methoden, Regelungen mittels neuronaler Netze oder genetischer Algorithmen sowie auf der Seite der Produktionsautomatisierung durch holonische oder Mehragenten-Systeme. Ein Ende dieser Entwicklung ist derzeit nur sehr schwer abzusehen.

Auf diesem Automatisierungstag sollen daher industriell realisierte Lösungen als auch neuere Anwendungsgebiete behandelt werden.

Programm:

10.00 Uhr:	Eröffnung
10.15 – 11.00 Uhr:	Mensch-Maschine-Systeme in der Automatisierungstechnik G. Johannsen, Universität Kassel
11.00 – 11.30 Uhr:	Verleihung des Fred Margulies-Preises durch Frau Bundesminister E. Hostasch Laudatio: Sekt.Chef Dr. N. Rozsenich
11.30 – 12.15 Uhr:	Unternehmen als Regelkreis V. H. Haase, IICM/IST, Technische Universität Graz
13.30 – 15.30 Uhr:	Kurzvorträge von österreichischen Firmen bzw. Forschungs- und Universitätsinstituten. Angefragt (in alphabetischer Reihenfolge): ABB Hartmann & Braun, Perchtoldsdorf; ASCAD GmbH, Korneuburg; Bernecker + Rainer, Engelsberg; Engel Maschinenbau GmbH, Schwert-berg; FESTO GmbH, Wien; MAGNA Automobiltechnik AG, Ober-waltersdorf; Österr. System- und Automatisierungsges., Wiener Neu-stadt; Rosenbauer Intern. AG, Leonding; Siemens Österreich, Wien.

Darüberhinaus besteht für die Teilnehmer die Möglichkeit die ***viet'99*** zu besuchen. Die Veranstalter hoffen dadurch den 14. Österreichischen Automatisierungstag noch attraktiver zu gestalten.
Die Referate werden in einem Tagungsband zusammengefaßt und den Teilnehmern bei der Registration unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Die Teilnahme ist kostenlos; es wird jedoch um Voranmeldung ersucht.

7th International Workshop on

Computer Aided Systems Theory and Technology 1999
EUROCAST'99

September 29th – October 2nd, 1999
Vienna University of Technology / Vienna, Austria

Topics include Systems Theory and CAST as related to:

- ⇨ Concepts and Models for the Architectural Level of Complex Systems
- ⇨ Advancements in Engineering Design Environments
- ⇨ Complex Models and Simulation
- ⇨ CAST in Automation and Control
- ⇨ Applications in Environmental and Energy Systems

The working language of the conference is **English.** Prospective authors are invited to submit three copies of an extended abstract (500 words) including authors' names, affiliations, mailing address, E-mail, telephone and fax numbers to the address given below. Deadline for submissions is May 15th, 1999.

EUROCAST'99
Institute for Handling Devices and Robotics
Vienna University of Technology
Floragasse 7A, A-1040 Vienna, AUSTRIA
Tel:+43-1-504 1835, Fax:+43-1-504 1835-9
E-mail: ecast99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at

Further information is also available at our workshop homepage:
http://www.ihrt.tuwien.ac.at/ECAST99/

1st IFAC Workshop on Multi-Agent Systems in Production MAS '99

December 2 - 4, 1999

Vienna University of Technology / Vienna, Austria

Manufacturing and production has being changed dramatically in the last years. One of the future possibilities to reduce the production costs are Multi-Agent Systems (MAS). Such systems are one of the key technologies for realization of decentralized, adaptive and complex productions systems. A MAS consists of several "agents" working towards a common goal, having different specialisations for specific subtasks.

Technical areas of interest include:

- Design
- Self Configuration
- Task Distribution
- Learning
- Cooperation
- Fault Tolerance
- Control
- Path and Task Planning
- Coordination
- Education
- Scalability
- Social Aspects
- Organizational Design
- Decision Making
- Programming and Languages
- Interaction (Agent –Agent, Human – Agent)
- Automated Negotiation

The working language of the conference is **English.** Prospective authors are invited to submit three copies of an extended abstract (500 words) including authors' names, affiliations, mailing address, E-mail, telephone and fax numbers to the address given below. Deadline for submissions is May 15th, 1999.

MAS '99
Institute for Handling Devices and Robotics
Vienna University of Technology
Floragasse 7A, A-1040 Vienna, AUSTRIA
Tel:+43-1-504 1835, Fax:+43-1-504 1835-9
E-mail: ecast99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at

Further information is also available at our workshop homepage:
http://www.ihrt.tuwien.ac.at/ECAST99/

Datum	*Veranstaltung*	*Ort*	*Weitere Informationen erhältlich bei:*
13.-18.6.1999	15th IMEKO WORLD CONGRESS	*Osaka Japan*	Society of Instrument and Control Eng. 35-28-303, 1-Chome Hongo, Bunkyu-ku Tokyo 113, Japan FAX: +81/3/3814 4699
5.-9.7.1999	14th IFAC WORLD CONGRESS	*Beijing PRC*	IFAC'99 IPC Secretariat Institute of Systems Science Chinese Academy of Sciences Beijing 100080, PR China FAX: +86/10/6258 7343 e-mail: ifac99@iss03.iss.ac.cn http://www.ia.ac.cn/ifac99/ifac99.html
16.-20.8.1999	15th IFORS WORLD CONGRESS	*Beijing PRC*	IFORS XV Conference Secretariat Institute of Applied Mathematics Chinese Academy of Sciences Beijing 100080, PR China FAX: ++86/10/6254 1689 e-mail: orchina@publ.east.cn.net http://www.ifors.org/leaflet/triennial.html
28.9.1999	14. Österreichischer Automatisierungstag	*Wien*	Prof. Dr. Peter Kopacek Inst. für Handhabungsgeräte und Robotertechnik Technische Unversität Wien A-1040 Wien, Floragasse 7a FAX: +43/1/504 18 359 e-mail: kopacek@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at
29.9.-2.10.1999	7th International Workshop on Computer Aided Systems Theory and Technology – EUROCAST'99	*Vienna Austria*	Prof. Dr. Peter Kopacek Institute for Handling Devices and Robotics Vienna University of Technology Floragasse 7a A-1040 Vienna, Austria FAX: +43/1/504 18 359 e-mail ecast99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/ECAST99
2.-4.12.1999	1st Intern. Workshop on Multi-Agent Systems in Production – MAS'99	*Vienna Austria*	Prof. Dr. Peter Kopacek Institute for Handling Devices and Robotics Vienna University of Technology Floragasse 7a A-1040 Vienna, Austria FAX: +43/1/504 18 359 e-mail mas99@ihrt1.ihrt.tuwien.ac.at http://www.ihrt.tuwien.ac.at/MAS99/