

Ein lernendes System für die Steuerung eines Kanalnetzes :

- Die Entscheidungs-Prozessen zu automatisieren.
- Die Erfahrung automatisch zu sammeln.

I) Das Objekt : Stadtentwässerungssystem.

Die Unterteilung → passive Elemente (das eigentliche Kanalnetz).
→ Steuerungseinrichtungen (benötigen eine möglichst genaue Kenntnis des Zustandes des Netzes).

Die Kosten des Betriebes:

- die Pumpenleistungskosten
- Überstaukosten
- Überlaufkosten

Steuerung in Stadtentwässerungssystemen :

- lokale Steuerung
- Verbundsteuerung

Steuerungssysteme :

Modulen → dynamisches zu steuerndes System

→ Steuereinheit

Parameter → Störwerte $r(t)$

→ Steuerwerte $u(t)$

→ Systemoutput $x(t)$ alles was sich am Systemzustand beobachten läßt.

Beziehungen zwischen den Parametern :

$x(t+\Delta t) = \Phi(x(t), u(t), r(t))$. die Zustandsänderung erfolgt immer in festen diskreten Zeitintervallen $\Delta(t)$.

Der Zustandsraum : Die Menge aller möglichen Zuständen des Systemes (Kompakt ?, diskret).

Der Zustandsraum wird in verschiedenen Äquivalenzklassen aufgeteilt. Für jeden Zustand der Klasse wird dieselbe Steuerungsstrategie eingeführt.

Begriff der Steuerbarkeit (sehr stark eingeschränkt → muß man von partiellen Steuerbarkeit sprechen).

Begriff der Beobachtbarkeit : anhand der Observablen kann man den kompletten Zustand des Systemes zurückziehen.

Das gesamte Zustand des Systemes zu kennen bedeutet zwangläufig die Evolution mit der Zeit zu kennen → in der Tat kann man auf einen großen Teil der Information verzichten um trotzdem richtig die verschiedenen Zustände zu unterscheiden.

Es bedeutet statt die Werte eines Parameters für jede Zeitschritte zu speichern kann man einen syntetischen Parameter speichern.

Eine Steuerklasse ist eine Teilmenge des Zustandsraums, in der immer die gleiche Strategie angewendet wird. Sie muß kompakt aber nicht zusammenhängend ???.

In der Tat gibt es keine richtige Partitionierung des Zustandsraumes in Steuerklassen. Es ist aber vielmehr so, daß für wenige Bereiche wird eine Strategie festgelegt. Für die andere Bereiche muß ein Vergleich um den nächsten mit festgelegter Strategie Zustandsbereich geschehen.

Es wird die Klasse ausgewählt zu der der Zustand fast gehört → Begriff der Fuzzy-Menge.

Für jede Teilmenge A einer Obermenge E gibt es eine charakteristische Funktion :

$$F_A(x) = 1 \leftrightarrow x \in A$$

$$F_A(x) = 0 \leftrightarrow x \notin A$$

Der Übergang vom Paar (1,0) zum Intervall (1,0) entspricht dem Unterschied zwischen Teil-Menge und Fuzzy-Teil-Menge.

Produktionssystem für Steuerungsaufgaben:

1) Die Mengen :

- M ist die Menge der meßvariablen.
- S ist die Menge der Steuervariablen.

- K ist die Menge aller Konstanten. K enthält mindestens die Variable nil, die 'keine Variable' bedeutet.

2) Die regel

Eine Regel ist ein Paar (B_r, a) wobei :

B_r ist eine Menge von Bedingungen (Zustandsbereich).

a ist eine Aktion (Steuerstrategie).

Eine Bedingung $b \in B$ ist ein Tripel (z, k_1, k_2) mit $z \in Z$ und $k_1, k_2 \in K$ (intervall).

Eine Aktion $a \in A$ ist ein Paar (s, k) mit $k \in K$ und $s \in S$. Für den Steuerwert S wird die Strategie k ausgewählt.

Das Regelbasissystem :

Die Regelbasis PR ist eine endliche Menge von Regel mit einer Gewichtungsfunktion g , wobei die Menge mit einer linearen Ordnung L_{PR} versehen wird.

Eine gewichtungsfunktion ist eine Funktion $g : Z \times S \rightarrow (0,1)$.

$g(z,s)$ heißt gewichtfaktor für eine Zustandsvariable z und eine Steuervariable s .

u ist die Auswahlfunktion auf PR .

Die Funktion $u : PR \times DB \rightarrow (0,1)$.

Der Deduktionsprozess :

- Konsistenz (Widerspruchsfreiheit?)
- Vollständigkeit.

Aufbau eines Produktionssystems zur Abflußsteuerung :

- Die Annahme eines diskreten und kompakten Wertebereichs ???

Vergleich mit den anderen Produktionssystemen :

Theorie :

Die herkömmliche Definition von Produktionssystemen, die auf der klassischen Prädikaten-Logik beruht.

Es gibt ABER keine vollständige Aufteilung des Zustandsraums in Steuerklasse → das Konzept ist nicht weiter brauchbar.

LÖSUNG :

Es wird mit Fuzzy-Teil-Menge gearbeitet : die Bedingungen können die Werte zwischen 0 und 1 annehmen und eine Prämisse wird als 'und' verknüpfte Bedingungen angesehen.

Lernen :

Leistungsfähigkeitssteigerung :

→ qualitative Verbesserung d.h die gefundenen Lösungen sind bezüglich einer gegebenen Kostenfunktion echt günstiger.

→ komplexitätsreduzierende Effektivierung.

Die Kosten der Steuerung , die sehr oft nur auf einer Einschätzung beruhen.

Für die Veränderung der Regelmenge gibt es 3 Basis-Operationen :

- Generierung
- Verallgemeinerung → die Intervalle von Bedingungen einer Regel werden vergrößert, so daß die Regel in einer grösseren Anzahl von Zuständen anwendbar ist.
- Spezialisierung.

Metaregeln zur Erzeugung der Basisregelmenge :

Im Folgenden werden einige Meta-Regel zur Generierung der Basisregelmenge gegeben :

- Intervallregel ???:

Teile den Meßbereich des ersten vor einem Steuerelement gelegenen Meßwertes in Intervalle auf, deren Vereinigung den

gesamten Meßbereich überdeckt., und ordne jedem Intervall eine Steuerstrategie zu.

- Ausschlußregel :

Wenn 2 Pumpen entgegengesetzt arbeiten, darf nur eine von den beiden arbeiten.

- Überstauregel :

Wenn ein Meßgerät unmittelbar oberhalb eines Steuerelementes Überstau (bzw Einstau) meldet, dann wird der Durfluß durch das Steuerelement auf 0 gesetzt ????.

- diese Meta-Regel soll verhindern, daß noch mehr Wasser in überlastete Teilgebiete gelangt -

Wie oben schon erwähnt kann nur der Lernprozeß stattfinden, wenn es Möglichkeiten gibt, die Anwendung jeder Regel in der Bewertung einer Strategie einzubeziehen.

Diese Bewertung wird durch die Anwendung von Meta-Regeln ermöglicht.

Um den Erfolg der Anwendung einer Regel bewerten zu können, müssen die Kosten, welche diese Regelanwendung verursacht hat, berechnet werden.

die Kosten :

- für jeden Schacht die Kosten 1m^3 Überstau.
- für jeden Auslass die Kosten 1m^3 Entlastung.
- für jede Pumpe die (Energie-)Kosten für 1m^3 gepumptes Wasser.
- ist die geförderte Menge kleiner als der Sollwert, muß der Sollwert gesenkt werden und die reale Differenz wird als zusätzliche Kosten betrachtet.

Ziel ist die gesamten Kosten am Ende der Simulation minimal zu machen .

Die Anwendung einer Regel wird einen Zeitschritt später, wenn die neuen Meßwerte vorliegen, bewertet. Dazu werden die in dem letzten Zeitschritt angefallenen Kosten auf die Regeln verteilt.

positive Kosten : sie sind durch einen zu niedrigen Sollwert verursacht worden.

negative Kosten : sie sind durch einen zu hohen Sollwert verursacht worden (z.B. Betriebskosten).

Überstau- und Entlastungskosten sind negativ, wenn sie nach einem Steuerelement auftreten, und positiv, wenn sie davor entstanden sind.

Bewertung der Steuerung :

die Daten → in Schächten, in Auslässen, in Pumpen, für alle Elemente die Entfernung zu jedem Steuerelement.

Da für jedes Steuerelement in jedem Zeitschritt genau eine Regel benutzt wird, werden die in diesem Zeitschritt entstandenen Kosten für jedes Steuerelement berechnet.

Überstau- und Entlastungskosten werden rückwirkend verteilt.

Bemerkung :

- Es sollte Kosten gerechnet werden, wenn Wasser in einem Rückhaltebecken enthalten ist. Der Rückhaltebecken müßte immer so leer wie möglich sein (Sicherheitsmaßnahme).

Beispiel : (schwaches Ereignis)

- Von einem Schritt zu dem anderen müßten die Leistungen der jeweiligen Pumpen nicht zu unterschiedlich sein, um Instabilitäten im Netz zu vermeiden (Instabilitäten im Simulationmodell und dem wirklichen Netz).

Beispiel : schwaches Ereignis

Ereignis- Analyse und Generierung neuer Regeln :

- Die Stärke der Änderung einer Pumpenleistung (im Falle der Bestrafung einer Regel) wird von der Höhe der Bestrafung abhängen.

Positive Kosten :

Neue Leistung = $\text{Min}(\text{Bereich}, \text{alte Leistung} + (\text{Faktor} \times \text{Bereich}))$.

Negative Kosten :

Neue Leistung = $\text{Max}(\text{Bereich}, \text{alte Leistung} - (\text{Faktor} \times \text{Bereich}))$.

Verkleinern der Regelmenge :

Um das Produktionssystem so effizient wie möglich zu erhalten, muß die Zahl der Regeln in der Regelbasis so weit wie möglich eingeschränkt werden.

2 Möglichkeiten :

- Verallgemeinerung
- Löschen überflüssigen Regeln.

Definition:

Regel x ist neuer als Regel y ($x > y$), wenn x bzgl. der Ordnung L_{PR} größer ist als y .

x und y berühren sich, wenn gilt :

$\exists b_{x0} \in B_x \exists b_{y0} \in B_y : b_{y0} \wedge b_{x0} \neq \emptyset$

und für $C_x = (B_x - b_{x0}, a_x)$

$C_y = (B_y - b_{y0}, a_y)$

gilt $C_y = C_x$.

b_{x0} und b_{y0} werden die Berührungsbedingungen genannt.

das Löschen :

$x(B_x, a_x)$ kann gelöscht werden, wenn :

- $\exists y \in PR \ y \succ x$ und $y > x$. Es gibt eine neuere Regel y , welche allgemeinere Bedingungen als x hat, aber nicht unbedingt die gleiche Aktion.

- $\exists y \in PR : y \succ x$ und $a_x = a_y$.

Der Zustandsbereich wurde vergrößert, und die speziellere Regel wird durch die allgemeinere ersetzt.

Anwendung und Überprüfung des Systems :

- Eines einfaches Kanalnetz
- 3 Niederschlagsereignisse des Jahres 1982 (ein schwaches, ein mittleres, ein starkes Ereignis).

Bemerkungen über die verschiedenen Versuche, die Regelbasis zu testen für verschiedenen Ereignissen.

Vorschlag:

Man könnte für die verschiedenen Arte von Ereignissen (Schwach, mittler, stark) verschiedene Regelbasis erzeugen und benutzen.

Andere Bemerkungen :

p12 : Begriff der partiellen Steuerbarkeit

p14 : Bezüglich der Steuerklassen 'Diese Teilmenge muß nicht zusammenhängend sein, aber sie ist immerhin kompakt'.

p39 : Überstauregel (??)

p40 : beispiel am Anhang (es gibt keinen Anhang).

p77 : wie hoch sind die Becken ?

p81 : Vergleich der besten Strategie, die nur mit dem Schwachen, nur mit dem starken, mit dem schwachen und starken abwechselnd gefunden wurde.

p84 : die zufällig erzeugte Basisregel ist nicht vollständig.

p89 : während der Ereignisanalyse wurde ein heuristisches Verfahren ausgewählt, um die Aufteilung des Ereignisses in Gruppen ähnlicher Zustände und ihre Zusammenfassung durchzuführen.