

Generalisierung trainierter Fallbeispiele durch probabilistisches Schließen in einem Expertensystem

Eike Mühlenfeld, Stefan Enk

Institut für Elektrische Informationstechnik der TU Clausthal
Leibnizstr. 28, D-38678 Clausthal-Zellerfeld,
Tel. 05323-722342, E-Mail: muehlenf@iei.tu-clausthal.de

Abstract: Das fallbasierte Expertensystem erwirbt sein Wissen durch trainierte Fallbeispiele. Es erkennt einmal gezeigte Objekte und identifiziert zeitvariante Prozesse aufgrund der Ähnlichkeit der aktuellen Folge von Prozeßdaten mit gespeicherten Fällen, um daraufhin fallgerecht zu handeln. Zur flexiblen Robotersteuerung wird bei der Auge-Hand-Koordination Kontext berücksichtigt. Generell lassen sich Ketten beliebiger Daten erkennen und autonom fortsetzen, z.B. Fragen durch Antworten, Aussagen durch Übersetzungen und verbale Anweisungen durch Handlungen, die einen Vorgang steuern. Das fallbasierte Expertensystem ist tolerant gegenüber quantitativen Änderungen von Daten. Qualitativ generalisiert es trainierte Fallbeispiele, indem es sie auf Wahrnehmungen anwendet, die sich von der des Beispiels begrifflich unterscheiden, aber damit in der Wissensbasis statistisch zusammenhängen.

Stichwörter: Expertensystem, fallbasiert, fuzzy, soft-computing, Automatisierung, Spracherkennung.

1 Identifikation und Automatisierung zeitvarianter Prozesse

Der Automatisierungstechnik stellt sich heute die Aufgabe, wissensbasiert [7] auch solche technischen Prozesse optimal zu führen, die sich durch Formulierung von mathematischen oder logischen Regeln nur schwer und unvollkommen beschreiben lassen. Neuronale Netze lernen [2] wie Menschen, indem sie als Erfahrungen speichern, mit welchen Handlungen auf aktuelle Wahrnehmungen zu reagieren ist. Komplexe Prozesse, Fälle oder Situationen sind jedoch durch die zu einem einzigen Zeitpunkt verfügbaren Wahrnehmungen oft nicht zu identifizieren. Dann sind mehrere Wahrnehmungen erforderlich, wozu Sensorik oder Prozeß bisweilen durch Handlungen anders eingestellt werden müssen, bevor mit genügender Sicherheit klar wird, welche Situation vorliegt. Die Automatisierung solcher **zeitvarianten Prozesse** erfordert einen nichttrivialen Automaten, der eine neue Meldung über eine Handlung und die darauf folgende Wahrnehmung jeweils nutzt, um seinen internen Zustand an den vorliegenden Fall zu adaptieren. Das hier in einer Übersicht seiner vielfältigen Möglichkeiten vorgestellte fallbasierte Expertensystem ist ein solcher Automat, dessen **Wissenserwerb durch Trainieren** von Beispielen erfolgt.

Im allgemeinen sind Meßdaten über die reale Welt mit Unsicherheiten behaftet, und die im Betrieb zu behandelnden Fälle [3] sind den trainierten bestenfalls ähnlich. Daher ermittelt das fallbasierte Expertensystem diese Ähnlichkeiten und adaptiert daraufhin fortlaufend die Wahrscheinlichkeiten dafür, daß die verschiedenen trainierten Fälle tatsächlich vorliegen [8]. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung bildet den Automatenzustand des fallbasierten Expertensystems und bestimmt die situationsgerechte Auswahl einer Handlung oder die Interpolation der die Handlungen spezifizierenden Stellvektoren. Dieses **probabilistische Schließen** [9] ist störungstolerant und kann etwas unscharf als „fuzzy“ bezeichnet werden.

Erkennung von Gußteilen

Das menschliche Auge nimmt zu einem Zeitpunkt nur in einem kleinen fovealen Bereich der Retina beispielsweise eine Ecke eines Objekts mit hoher Auflösung wahr, während es den peripheren Bereich nur grob auflöst. Die Lage des fovealen Bereichs im Bildfeld wird durch eine Handlung, die Augenbewegung, gesteuert. Aufgrund des dort wahrgenommenen Bildelements lassen sich fast immer mehrere Objekthypothesen bilden. Zum Test dieser Hypothesen steuert die Handlung Augenbewegung dorthin, wo andere Bildelemente erwartet werden. Nach dieser Strategie erkennt auch das fallbasierte Expertensystem beliebig geformte Gußteile in beliebiger Lage auf einer Palette oder einem Förderband mit einer Fehlerrate $< 0,03\%$ und ermittelt deren Lage [4].

Diagnose und Steuerung technischer Prozesse

Wenn die Parameter von Rohstoffen, Werkzeugen und Betriebsmitteln durch natürliche Gegebenheiten bestimmt werden, sind sie oft nicht meßbar oder beobachtbar, sondern müssen als zeitvariant betrachtet werden. Das gilt z.B. bei Zementmühlen für die Rohstoffeigenschaften des Gesteins, bei der Ausspeicherung aus Untergrund-Gasspeichern für das statische und dynamische Verhalten der Lagerstätte und bei elektrischen Akkumulatoren für deren elektrochemischen Zustand. Durch Auswertung verfügbarer Meldungen identifiziert das fallbasierte Expertensystem zunächst den Prozeß fortlaufend, indem es die Wahrscheinlichkeiten dafür adaptiert, daß die trainierten Fälle vorliegen. Mit diesen Wahrscheinlichkeiten werden die für jeden Fall trainierten optimalen Stellvektoren gewichtet interpoliert, um den Prozeß fortwährend optimal einzustellen [5].

2 Erkennung und Fortsetzung von Handlungs-Wahrnehmungs-Ketten

Handlungen eines Roboters müssen in bestimmter Reihenfolge durchgeführt werden, da fast jede Handlung den Prozeßzustand voraussetzt, der durch die vorangegangenen Handlungen geschaffen worden ist. Daher wird im fallbasierten Expertensystem der **Kontext** zwischen den aufeinander folgenden Meldungen in die Datenstruktur aufgenommen und bei deren Auswertung berücksichtigt. Eine Meldung enthält jeweils die Stelldaten einer Handlung und die darauf folgende Wahrnehmung, die nach Klassifikation von Meßdaten durch ein terminales Symbol repräsentiert wird. Beim Training eines Falls werden die Meldungen als Kette gespeichert und durch ein Metasymbol gekennzeichnet. Im Arbeitseinsatz wird der vorliegende Fall zunächst aufgrund einer oder mehrerer Meldungen identifiziert, woraufhin die Kette des wahrscheinlichsten Falls fortgesetzt wird.

Auge-Hand-Koordination zur Robotersteuerung

In Abschnitt 1 generiert ein fallbasiertes Expertensystem nach menschlichem Vorbild die Meldung, daß eine Handlung, die den fovealen Bildausschnitt in die darin spezifizierte Lage gesteuert hat, zur Wahrnehmung eines bestimmten Objekts führt. In einem Greifvorgang bewegt eine durch Lagedaten spezifizierte Handlung die Roboterhand bis zu einer taktilen Wahrnehmung des Objekts. Die Koordination des visuellen Erkennens und des manuellen Greifens wird trainiert, indem die Kette der von Auge und Hand gelieferten Meldungen gespeichert wird. Auch in längeren Handlungs/Wahrnehmungs-Ketten werden die Lagedaten einer Handlung stets auf die Lagedaten der vorangegangenen Handlung bezogen, so daß die Hand zum Greifen unabhängig von der absoluten Objektlage immer in die gleiche Lage relativ zum Objekt gesteuert wird. Auf diese Weise lassen sich mehrere beliebig liegende Objekte in eine definierte Lage relativ zu einander bringen und montieren [1]. Die Relativierung der Handlungsdaten hat eine sehr weitgehende quantitative Toleranz geschaffen.

Textverarbeitung

Textworte natürlicher Sprache nehmen wir meistens eindeutig codiert wahr, ohne daß es dazu einer spezifizierbaren Handlung bedarf. Ist die Folge der Worte eines Satzes als Kette von Meldungen trainiert worden, so kann das fallbasierte Expertensystem die Kette autonom fortsetzen, sobald es sie aufgrund der ersten Meldungen identifiziert hat. Es kann also eine Frage durch die trainierte Antwort fortsetzen oder eine Aussage durch deren trainierte Übersetzung. Dies wird jedoch erst praktisch nutzbar, nachdem im nächsten Abschnitt die für die Vielfalt sprachlicher Formulierungen erforderliche qualitative Toleranz geschaffen worden ist.

3 Generalisierung von Fallbeispielen durch statistische Relationen

Beim Wissenserwerb enthalten Ketten oft Teilketten, die bereits als selbständiger Fall erlernt worden sind. Dann wird eine solche Teilkette durch ihr Metasymbol substituiert. Durch wiederholte Substitutionen auf verschiedenen Ebenen wird das Wissen einer Kette hierarchisch strukturiert und Schema genannt. Unterscheidet sich ein neues Schema von einem gespeicherten nur durch den Inhalt oder Wert eines Elements, so wird dieses Element zu einer Variablen, und die Menge der Werte dieser Variablen wird verzeigert. Ein Schema kann mehrere Variable enthalten. Stets gemeinsam auftretende Werte verschiedener Variablen werden zusätzlich verzeigert und bilden zwei- oder **mehrstellige Prädikate**.

Durch statistische Analyse der Schnittmengen der Wertemengen von Variablen werden **statistische Relationen** gebildet, die eine qualitative Generalisierung trainierter Fälle ermöglichen. Im Detail wird dies in [6] dargestellt. Hier wird es am Beispiel des aus der Philosophie bekannten syllogistischen Schließens erläutert. Dazu seien die folgenden 4 Schemata mit jeweils einer Frage und der zugehörigen Antwort trainiert worden:

- | | | |
|-------|------------------------------------|----------------------------------|
| s_1 | ist {Sokrates,Platon} ein Mensch ? | ja {Sokrates,er} ist ein Mensch. |
| s_2 | muß {Sokrates,Xantippe} sterben ? | ja {Sokrates,sie} muß sterben. |
| s_3 | ist {Zeus,Hera} ein Mensch ? | nein {Zeus,sie} ist ein Gott. |
| s_4 | muß {Zeus,Apollo} sterben, ? | nein {Zeus,er} ist unsterblich. |

Geschweifte Klammern enthalten mögliche Werte einer Variablen, wobei Werte, die im gleichen Schema in den Klammern an gleicher Stelle stehen, als zweistellige Prädikate zusammen gehören. Das fallbasierte Expertensystem antwortet richtig auf die Frage:

muß Xantippe sterben ? ja sie muß sterben.

Es hat nämlich am Ende der Frage festgestellt, daß der in s_2 trainierte Fall vorliegt, somit Schema s_2 gilt und mit dem zugehörigen Variablenwert fortzusetzen ist. Das fallbasierte Expertensystem antwortet aber auch richtig auf die nicht trainierte Frage:

muß Platon sterben ? ja er muß sterben.

Dazu wurde am Ende der Frage festgestellt, daß Schema s_2 oder s_4 gelten würde, wenn von dem aktuellen Wert 'Platon' der Variablen abgesehen wird. Ferner gelten für einen Teil der Variablenmengen in s_1 und s_2 , nämlich für 'Sokrates', beide Schemata s_1 und s_2 . Daher gibt es allgemein eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, daß s_2 für alle Variablenwerte aus s_1 , also auch für 'Platon' gültig ist. Da es keine Schnittmenge zwischen der Menge, die den Wert 'Platon' enthält, und der Menge {Zeus, Apollo} in s_4 gibt, kann s_4 nicht gültig sein. Folglich wird s_2 fortgesetzt. Probabilistisch fallbasiertes Schließen kann also auch in Fällen, die nicht trainiert worden sind, zu optimalen Schlußfolgerungen führen.

Die Fähigkeit des Trainierbaren Automaten zur Generalisierung von trainierten, hierarchisch strukturierten Schemata wird zunächst der Einfachheit halber mit eindeutig codierten Textdaten aus einem begrenzten Aufgabenbereich demonstriert.

Textübersetzung

Als Basiswissen wurden Übersetzung einer Frage nach dem Weg aus dem Deutschen ins Englische für viele Variablenwerte trainiert:

s₅ wie komme ich {zum Bahnhof, zum Hafen, zu einer Toilette, zum nächsten Arzt,.....}?
how do I get {to the station, to the port, to a toilet, to the nearest doctor.....}?

Die Übersetzung der Frage

s₆ geht es hier {zum Hafen, zur Stadt}? is this the way {to the port, to the city}?

wurde nur für die beiden angegebenen Werte trainiert. Diese Frage wird danach aber auch für alle anderen trainierten Werte der Variablen aus s₅ richtig übersetzt, obwohl Schema s₆ hierfür nicht trainiert worden ist. Es müssen also nicht alle möglichen Sätze für alle möglichen Variablen trainiert und gespeichert werden, sondern es genügt, die Struktur bzw. das Schema von Sätzen mit einigen Werten der Variablen zu trainieren.

Verbale Systemsteuerung

Der erkannte Text kann eine frei formulierte Frage nach Flugverbindungen sein, die mit den Variablenwerten der Frage formatierte Zugriffe auf eine Datenbank veranlaßt und deren Ausgaben in die trainierte Antwort einbezieht. Der erkannte Text kann auch eine verbale Anweisung sein, die durch eine Folge von Handlungen fortgesetzt wird, mit denen ein Videorecorder, ein Roboter oder eines anderes technisches System gesteuert wird. Arbeiten hierzu sind geplant.

Zusammenfassung

Generell lassen sich Ketten trainieren, identifizieren und reproduzieren, in denen Daten über das Geschehen in einem technischen Prozeß und Textworte, z.B. zur Kommunikation mit dem Bediener, in beliebiger Folge auftreten. Dabei ist das fallbasierte Expertensystem tolerant gegenüber quantitativen Veränderungen von Daten und toleriert qualitativ begriffliche Wahrnehmungen in einem Kontext, in dem sie nicht erlernt worden sind. Diese durch statistische Analyse der Schnittmengen von Variablenwerten geschaffene qualitative Toleranz erweitert die Möglichkeiten des Soft-Computing.

Literatur

- [1] Boelow, Th; Mühlenfeld, E; Nicolaou, M.: Fallbasierte Automatisierung am Beispiel von Verbrennungsprozessen, Bildverarbeitung und Auge-Hand-Koordination. Automatisierungstechnische Praxis atp 38(1996)12, S.50-67.
- [2] Herrmann, J.: Maschinelles Lernen und wissensbasierte Systeme. Springer 1997.
- [3] Lenz, M.; Bartsch-Spörl, B.; Burkhard, H.-D.; Wess, S.: Case-Based Reasoning Technology. Springer 1998.
- [4] Mühlenfeld, E.; Boelow, Th.; Meier, U.: Maximierung des Entropiegewinns bei der Meßdatenauswahl zur Erkennung von Gußteilen. Proc.X.Meßtech.Symp.1996, S.71-76.
- [5] Mühlenfeld, E.: Fuzzy Identification and Control of Time-Variant Processes. Proc. EUFIT'96, S. 1200-1204.
- [6] Mühlenfeld, E.: Expertensystem. Offenlegungsschrift DE 198 28 528 A1 vom 17.12.98.
- [7] Puppe, Gappa, Poeck, Bamberger: Wissensbasierte Diagnose- und Informationssysteme. Springer 1996.
- [8] Shafer, G.: The art of causal conjecture. MIT-Press 1996.
- [9] Wahlster, W.; Meyer, M.: Probabilistische Ansätze zur Benutzermodellierung. Seminar Univ. des Saarlandes 1995.