

GERHARD-MERCATOR-UNIVERSITÄT
DUISBURG

- Fachbereich Wirtschaftswissenschaft -
Wirtschaftsinformatik und Operations Research
Prof. Dr. Peter Chamoni

Seminar:
Planungs- und Kontrollsysteme

Thema:
Planungsmodelle und Künstliche Intelligenz

Christian Tegelkamp
Lotharstr. 270
47057 Duisburg
0203/3938140
1976-07-25

Planung und Organisation
Banken und Betriebliche Finanzwirtschaft
6. Fachsemester
737416
2002-05-31

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Grundlegende Verfahren der Künstlichen Intelligenz.....	2
2.1 Regelbasierte Systeme	2
2.2 Semantische Netze.....	2
2.3 Frames.....	3
2.4 Constraints	3
2.5 Fuzzy Logic	4
2.6 Neuronale Netze	6
2.7 Fallbasiertes Schließen	7
3 Expertensysteme	8
3.1 Wissensbasis	8
3.2 Inferenzkomponente	9
3.3 Wissenserwerbskomponente.....	9
3.4 Erklärungskomponente	10
3.5 Dialogkomponente.....	10
4 Planung mit Künstlicher Intelligenz	10
4.1 Logikbasierter Planungsansatz	11
4.2 Operator-Based-Planning	11
4.3 Fallbasiertes Planen	12
4.4 Continual Distributed Planning	12
5 Fazit und Ausblick	15
Literaturverzeichnis	16

Abkürzungsverzeichnis

KI

Künstliche Intelligenz

AI

Artificial Intelligence

1 Einleitung

Bei der Abgrenzung des Themengebiets ist es zunächst notwendig, sich Klarheit über den Begriff der Intelligenz zu verschaffen.¹ Eine formal-exakte Definition wird in der Literatur dazu nicht geliefert, ein Konsens ist jedoch dahingehend möglich, den Schwerpunkt auf die Bewältigung neuer Aufgaben zu legen. Die Funktion der Bewältigung neuer Aufgaben lässt sich wiederum in die psychischen Funktionen Wahrnehmung, Gedächtnis und produktives Denken zerlegen. Bleibt die Frage, inwieweit sich Intelligenz in technischen Systemen abbilden lässt. Laut Schefe (1986) ist dies möglich, soweit mechanisches Problemlösen gefordert ist. Problematisch wird es allerdings, wenn Kreativität notwendig ist.

Das Forschungsgebiet der Künstlichen Intelligenz (im folgenden KI) lässt sich in die folgenden Teildisziplinen untergliedern:

- **Spielprogrammierung oder Problemlösen:**
Befasst sich mit Lösungen von sehr speziellen Problembereichen, beispielsweise der Lösung von Brettspielen wie z. B. Schach.
- **Automatisches Beweisen:**
Spezialfall des Problemlösens mit Fokus auf mathematische Problemstellungen.
- **Natürlichsprachliche Systeme:**
Beschäftigen sich einerseits mit der Spracherkennung und andererseits mit der Analyse und Erzeugung schriftlicher Sprache.
- **Bildverarbeitung:**
Umfasst auch die Thematik der Mustererkennung nach statistischen Methoden.

Die Bemühungen dieser Teildisziplinen haben zu verschiedenen Methoden und Hilfsmitteln der praktischen Informatik geführt, welche sich grob in Such-, Inferenz-, Repräsentations- und Implementierungsmethoden unterteilen lassen.

Diese Arbeit wird nun zunächst grundlegende Technologien der KI darstellen und dann deren Implikationen für Planungssituationen aufzeigen. Dabei werden nicht die mathematischen Grundlagen Gegenstand der Betrachtungen sein,

¹ Vgl. hierzu und zum folgenden: Schefe (1986), S. 13 ff.

sondern vielmehr die konzeptionellen Grundgedanken, um dem Leser einen kompakten Gesamtüberblick über den Stand der Forschung zu geben.

2 Grundlegende Verfahren der Künstlichen Intelligenz

Im folgenden werden einzelne KI-Techniken der praktischen Informatik vorgestellt und kurz erläutert.

2.1 Regelbasierte Systeme

Regelbasierte Systeme repräsentieren Wissen in Form von Wenn-Dann-Relationen. Konklusionen („Dann-Komponente“) werden an die faktische Wahrheit der Prämissen („Wenn-Komponente“) geknüpft. Diese Art der Speicherung von Wissen korrespondiert mit dem menschlichen Problemlösungswissen und ist leicht handhabbar und änderungsfreundlich. Die genannten Vorteile relativieren sich jedoch mit zunehmender Zahl von Regeln. Auch ist die Darstellungsfähigkeit regelbasierter Systeme bei komplexen Zusammenhängen begrenzt.²

Die Inferenzkomponente regelbasierter Systeme besteht aus dem Regelinterpreter und dem Kontrollsystem.

Der Regelinterpreter ermittelt die Lösung einer Aufgabe oder Problemstellung alternativ entweder durch Vorwärts- oder durch Rückwärtsverkettung. Unter Vorwärtsverkettung ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass der Interpreter nach Regeln sucht, deren Prämissen in der aktuellen Situation erfüllt sind. Bei der Rückwärtsverkettung ermittelt der Regelinterpreter die zur Erreichung des gewünschten Soll-Zustands (als Konklusion) notwendigen Prämissen. Das Kontrollsystem überwacht die Reihenfolge der Regelabarbeitung.³

2.2 Semantische Netze

Semantische Netze sind eine Form der objektorientierten Wissensrepräsentation. Sie bilden das Wissen in Netzstrukturen ab, wobei die Knoten des Netzes Objekte, Ereignisse oder Zustände repräsentieren und die Kanten die Beziehungen zwischen den Knoten darstellen. Als mögliche Beziehungen kommen meist „ist (ein)“, „ist ein Teil von“, „hat (ein)“ oder auch „besteht aus“ in Fra-

² Vgl. Reinersmann (1996), S. 263 f.

³ Vgl. Stahlknecht / Hasenkamp (1997), S. 464 f.

ge.⁴ Auf diese Weise lassen sich kleine, überschaubare Wissensausschnitte sehr übersichtlich und nachvollziehbar darstellen⁵.

Semantische Netze werden in der Praxis selten in Reinform angewandt, vielmehr bilden sie die Grundlage für andere Formen der objektorientierten Wissensrepräsentation. Hier sind vor allem die semantischen Rahmen, im folgenden Frames genannt, zu nennen.⁶

2.3 Frames

Im Konzept der semantischen Rahmen werden Objekte (also Fakten und Relationen) schrittweise durch Slots beschrieben. Slots können Werte, Vorgaben, Vorbelegungen, Verweise auf andere Rahmen sowie Prozeduren und Prozeduraufrufe enthalten.⁷ Die Frames haben keine starre Struktur und können so flexibel dem betrachteten Anwendungsbereich hinsichtlich der Objekte und der zugehörigen Eigenschaften, Aktionen und Beziehungen angepasst werden⁸. Mittels der Verweise auf andere Frames können, analog zur objektorientierten Klassenbildung⁹, Vererbungshierarchien dargestellt werden und Frames zu semantischen Netzen verknüpft werden.¹⁰

Frames unterliegen keinem festen Formalismus und bieten so einen flexiblen „Rahmen“ für eine Vielzahl von Konzepten der Wissensrepräsentation.¹¹

2.4 Constraints

Constraints repräsentieren Wissen in Form von Relationen. Sie stellen in der Regel die bei der Lösung der Aufgabe auf jeden Fall zu berücksichtigenden Randbedingungen dar. Sie sind als ungerichtete Zusammenhänge zwischen Variablen zu sehen, ähnlich wie mathematische Gleichungen. Constraint-Netze

⁴ Vgl. Stahlknecht / Hasenkamp (1997), S. 463.

⁵ Vgl. Zelewski (1986), S. 217.

⁶ Vgl. Reinersmann (1996), S. 265.

⁷ Vgl. Stahlknecht / Hasenkamp (1997), S. 463.

⁸ Vgl. Zelewski (1986) S. 220 ff.

⁹ Vgl. Stahlknecht / Hasenkamp (1997), S. 463.

¹⁰ Vgl. Reinersmann (1996), S. 265

¹¹ Vgl. Richter (1989), S. 123 ff.

sind wie Gleichungssysteme zu handhaben, können allerdings auch Ungleichungen und nicht-numerische Zusammenhänge ausdrücken, somit sind quantitative und qualitative Randbedingungen modellierbar. Constraints sind eine wichtige Form der Wissensrepräsentation in Planungs- und Simulationssystemen.¹²

2.5 FuzzyLogic

Die Konzeption der Fuzzy Sets oder „unscharfen Mengen“ ist dem Bereich der Wissensrepräsentation in KI-Systemen zuzuordnen. Mit ihrer Hilfe sollen unscharfe, das heißt unpräzise, Sachverhalte oder Formulierungen in Informationssystemen abgebildet werden¹³. Notwendig wird die Repräsentation von Unschärfe durch die sehr komplexen Problemstellungen der Realität.¹⁴ Um nun einen Sachverhalt der Realität fassen zu können und um diesen dann in einem Informationssystem abbilden zu können, bedarf es der Vereinfachung. Dies kann einerseits durch das Auslassen von für die Problemlösung weniger wichtigen Fakten, andererseits durch die Verminderung des Präzisionsgrades geschehen. In der klassischen Entscheidungstheorie ist es nicht möglich den Präzisionsgrad zu verringern, dementsprechend leidet die Vollständigkeit des Abbilds der Realität. Durch die Fuzzy Sets kann nun der Präzisionsgrad gemindert werden und bei gleichem Rechen- und Informationsaufwand ein vollständigeres, wenn auch unpräziseres Bild der Realität geschaffen werden.

¹² Vgl. Puppe (1991), S. 37 ff.

¹³ Vgl. Reinersmann (1996), S. 189 ff.

¹⁴ Vgl. hierzu und zum folgenden: Rommelfanger (1994), S. 1 ff. sowie Reinersmann (1996), S. 191 ff.

Es werden in der Theorie verschiedene Arten der Unschärfe unterschieden:

- *Intrinsische Unschärfe*: Die Unschärfe menschlicher Empfindungen, letztlich die Unfähigkeit, einen Ausdruck in quantitative Größen zu fassen.
- *Informationale Unschärfe* liegt vor, wenn es unmöglich oder nur mit unvertretbarem Aufwand möglich ist die genaue Ausprägung eines Merkmals oder einer Merkmalskombination zu ermitteln.
- *Unschärfe Relationen* sind nicht-eindeutige Aussagen über das Verhältnis zwischen Elementen.¹⁵

Wie wird nun die Unschärfe einer Situation modelliert?

Dies geschieht mit Hilfe von unscharfen Mengen. Dabei wird die klassische, scharf abgegrenzte Menge durch eine Gruppe von Elementen ersetzt, die alle mehr oder weniger der somit unscharfen Menge zugehörig sind. So ließe sich der Zahl „7“ eine Zugehörigkeit von „0,9“ aus dem Intervall $[0,1]$ zu der unscharfen Menge „Zahlen ungefähr gleich 8“ zuordnen.¹⁶

Nun zu den Anwendungspotentialen der Fuzzy-Technologien:

Diese sind unter anderem als Komponente von Expertensystemen zu sehen. Hier können mit Hilfe von Fuzzy Sets Fakten in linguistischer Form gespeichert werden (Wissensrepräsentation) und Ergebnisse in für den Nutzer verständlicherer Form (Dialogkomponente) wiedergegeben werden.¹⁷ Die verschiedenen Komponenten von Expertensystemen werden in Abschnitt 3 noch näher erläutert. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Fuzzy-Technologien ist die Datenanalyse. Hier wird mittels unscharfer Mengen eine Datenreduktion erzielt und die Abbildung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen ermöglicht.¹⁸

Doch die Fuzzy-Technologien weisen an wesentlichen Punkten Schwächen auf: So ist zum einen die Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktion zu den unscharfen Mengen nicht ohne weiteres objektiv und wissenschaftlich fundiert

¹⁵ Vgl. Rommelfanger (1994), S. 4.

¹⁶ Vgl. Rommelfanger (1994), S. 8.

¹⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 19. Als Beispiele werden Kreditwürdigkeitsprüfungen, Steuerung flexibler Fertigungssysteme und Fertigungszellen sowie die Bewertung von Systemen der Fertigungssteuerung und Lagerhaltung genannt.

¹⁸ Vgl. Zimmermann (1993), S. 22 ff.

möglich, zum anderen sind die Operatoren zur Verknüpfung der unscharfen Mengen in weiten Teilen theoretisch nicht gesichert, es herrscht Unschärfe.¹⁹

2.6 Neuronale Netze

Hier werden mit Hilfe der Informationstechnologie im menschlichen Gehirn erkannte oder vermutete Organisationsmuster nachgebildet und zur Speicherung von Informationen genutzt. Neuronale Netze (im informationstechnischen Sinne) bestehen aus einer Vielzahl von einfachen und unabhängigen Prozessoren. Diese Prozessoren sind verbunden durch gewichtete Verbindungen, über die sie Nachrichten austauschen. Diese Netzwerke von einfachen Prozessoren sind lernfähig, da sie durch spezielle Lernalgorithmen in der Lage sind die Gewichte der Verbindungen zu verändern. Somit sind neuronale Netze universelle Aproximatoren, die beliebige Abbildungen von Ein- und Ausgaben realisieren können. Neuronale Netze werden nicht im herkömmlichen Sinne programmiert, sondern vielmehr trainiert. Somit sind sie der Wissensrepräsentation sowie der Wissenserwerbskomponente zuzuordnen.²⁰

Man unterscheidet zwischen festen und freien Lernaufgaben, synonym werden die Begriffe überwachte bzw. nicht-überwachte Lernaufgaben verwendet. Bei den festen Lernaufgaben werden dem Netz Datensätze mit Eingaben und den dazugehörigen „richtigen“ Ausgaben präsentiert. Das Netzwerk soll anhand der Daten den Zusammenhang zwischen den Ein- und Ausgaben erkennen und die Gewichte der Verbindungen so justieren, dass bei der Präsentation von entsprechenden Eingaben die erwarteten Ausgaben erfolgen. Freie Lernaufgaben werden meist zur Klassifikation von Daten eingesetzt. Dabei ist der Zusammenhang zwischen den Daten nicht bekannt. Das System soll die Datensätze zu Klassen zuordnen (Segmentierung).²¹

Die Problemlösungen sind implizit in den Gewichten der Verbindungen kodiert und lassen sich nicht ohne weiteres extrahieren.²² Neuronale Netze legen ein sogenanntes Black-Box-Verhalten an den Tag; das System ermittelt die Lö-

¹⁹ Vgl. Reinersmann (1996), S. 198 f.

²⁰ Vgl. Nauck / Klawonn / Kruse (1996), S. 1 ff.

²¹ Vgl. Schwanenberg (2001), S. 24 ff.

²² Vgl. hierzu und zum folgenden: Nauck / Klawonn / Kruse (1996), S. 1 ff.

sung, aber der Lösungsweg bleibt im Dunkeln. Weiterhin ist es nicht möglich, den Lernprozess des Netzes durch bereits vorhandenes Wissen über Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgaben zu vereinfachen.

Die Lernprozesse der Netze verändern in der Regel nur die Gewichte der Verbindungen zwischen den Knoten, nicht aber die Konfiguration des Netzes, sprich die Zahl der Synapsen und deren Verbindungen. Da aber die Lösungsqualität auch direkt von der Netzkonfiguration abhängt, jedoch keine verlässlichen Regeln zur situationskonformen Konfiguration existieren²³, beruht die Konfiguration meist auf groben Faustregeln. Damit unterliegt die Qualität der mit neuronalen Netzen erzielten Lösungen allerdings auch größeren Schwankungen, abhängig von der Güte der Schätzung oder Faustregel.

Die Stärken der neuronalen Netze liegen in der verteilten Struktur und der damit verbundenen hochgradigen Parallelität der Verarbeitung. Zentrale Stärke ist die Lernfähigkeit und die damit verbundene Flexibilität.

Die Einsatzgebiete der neuronalen Netze sind vielfältig, so lassen sie sich in Marketing, Finanzierung, Produktion und Logistik für Prognose-, Optimierungs- und Segmentierungsaufgaben einsetzen.²⁴

2.7 Fallbasiertes Schließen

Die Wissensrepräsentation beim fallbasierten Schließen erfolgt durch die Speicherung von historischen Fällen, also von Problemstellungen nebst der relevanten Rahmenbedingungen und deren Lösungen im sogenannten Fallspeicher. Bei Auftreten einer Aufgabe erfolgt die Lösungssuche durch die Suche nach dem historischen Fall mit der größten Übereinstimmung zur aktuellen Situation. Da das System auf Vergangenheitsdaten beruht versagt diese Form der Lösungssuche bzw. -speicherung, wenn neuartige Aufgabenstellungen auftreten.²⁵ Einsatzbereiche für Anwendungen, die auf fallbasiertem Schließen basieren, sind primär Call Center²⁶.

²³ Vgl. ebenso: Baumgart-Schmitt (1996), S. 12.

²⁴ Vgl. Schwanenberg (2001), S. 53.

²⁵ Vgl. Stahlknecht, Hasenkamp (1997), S. 467

²⁶ Vgl. Mertens, Griese (2000), S. 54.

3 Expertensysteme

Nachdem nun einige grundlegende Techniken der KI vorgestellt wurden, wird in den nun folgenden Abschnitten ein praktisches Anwendungsfeld exemplarisch beschrieben.

Ein Expertensystem²⁷ ist ein System zur eigenständigen Problemlösung, dass in einem eng abgegrenzten Aufgabengebiet versucht, die Leistung eines Experten nachzubilden. Zur Erfüllung dieses Anspruchs benötigen Expertensysteme verschiedene Arten von Wissen. Die Wissensarten lassen sich in unterschiedlichen Dimensionen gliedern. Einerseits in Fach- und Allgemeinwissen, andererseits in die Bereiche deklaratives, prozedurales Wissen und Metawissen. Vereinfacht gesagt: Das System muss über Wissen bezüglich des „Wie“ und des „Was“ im Problemlösungskontext verfügen.²⁸

Wissensbasierte Systeme bestehen aus den folgenden Komponenten:

- Wissensbasis,
- Inferenzkomponente,
- Wissenserwerbskomponente,
- Erklärungskomponente,
- Dialogkomponente.

3.1 Wissensbasis

In der Wissensbasis wird das anwendungsspezifische Wissen gespeichert. Dies geschieht in Form der in Abschnitt 2 erläuterten Verfahren der KI. Die Wissensbasis kann sowohl dynamische als auch statische Elemente enthalten, im dynamischen Teil werden regelmäßig Zwischenergebnisse der Problemlösung abgelegt oder auch aktuelle Informationen durch den Nutzer hinzugefügt. Der statische Teil der Wissensbasis wird normalerweise nur durch den Knowledge-Engineer bearbeitet.

²⁷ Der Begriff der Wissensbasierten Systeme wird in dieser Arbeit synonym zum Begriff Expertensysteme verwendet.

²⁸ Vgl. hierzu und zum folgenden: Reinersmann (1996), S. 255 ff., ebenso Wandel (1992), S. 18 ff. sowie Puppe (1991), S. 12 ff.

3.2 Inferenzkomponente

Die Inferenzkomponente enthält problemunspezifisches Wissen darüber, wie Aufgaben zu lösen sind, die Problemlösungsstrategie.²⁹ In der Inferenzkomponente werden verschiedene Schluss- und Suchverfahren eingesetzt, um eine für die aktuelle Problemstellung qualitativ angemessene Lösung zu erhalten. Dabei wird zum einen das Wissen der Wissensbasis verwendet, zum anderen werden Schlussfolgerungsverfahren zur Interpretation des vorhandenen Wissens eingesetzt. Die eingesetzten Verfahren variieren mit der Gestaltung der Wissensbasis.

3.3 Wissenserwerbskomponente

Mit Hilfe der Wissenserwerbskomponente wird die Wissensbasis aufgebaut und gepflegt. Sie dient der systematischen Aufbreitung des problemorientierten Wissens und unterstützt den Anwender bei der problemadäquaten Repräsentation des Wissens in der Wissensbasis. In der Literatur werden verschiedene Techniken der Wissensakquisition diskutiert.

Es lassen sich primär Arten des Wissenserwerbs unterscheiden:³⁰

- manueller Wissenserwerb,
- rechnergestützter Wissenserwerb,
- automatischer Wissenserwerb.

Bei manuellem Wissenserwerb wird das Expertenwissen durch einen Knowledge-Engineer der Wissensbasis hinzugefügt. Dieser hat das Wissen zuvor durch persönlichen Kontakt zum Experten erhoben, in Form eines Interviews, durch schriftliche Befragung oder auch durch Beobachtung des Experten.

Wird der Prozess der Wissensakquisition durch Software-Werkzeuge unterstützt, so spricht man von rechnergestütztem Wissenserwerb. Dabei ist unerheblich ob der Experte selbst oder der Knowledge-Engineer über das Software-Tool mit der Wissensbasis in Kontakt tritt.

Der automatische Wissenserwerb kann einerseits, wie im Abschnitt 2.6 erläutert, über neuronale Netze erfolgen. Des weiteren ist ein automatischer Wis-

²⁹ Vgl. hierzu und zum folgenden: Gosmann (1992), S. 35 f.; Kurbel (1989), S. 53 ff. und Scheer / Kraemer (1989), S. 24 ff.

³⁰ Vgl. hierzu und zum folgenden: Gosmann (1992), S. 43 f.

senserwerb über induktive Systeme möglich, dabei wird das Wissen über die Eingabe von Beispielen oder durch Interpretation von Fachliteratur in die Wissensbasis implementiert³¹.

3.4 Erklärungskomponente

Die Erklärungskomponente zeigt dem Anwender das zur Ermittlung der Lösung verwendete Wissen. Auf diese Weise werden die Vorgänge innerhalb des Expertensystems transparent und für den Anwender nachvollziehbar. Dies ermöglicht eine Kontrolle der Ergebnisse und gegebenenfalls eine Korrektur der verwendeten Verfahren in der Inferenzkomponente bzw. der Wissensbasis. Somit ist eine schrittweise Verbesserung des Systems erzielbar.

3.5 Dialogkomponente

Über die Dialogkomponente tritt der Anwender in Interaktion mit dem Expertensystem. Die Dialogkomponente sollte eine benutzergerechte Interaktion mit dem System erlauben und daher an die unterschiedlichen Benutzerprofile anpassbar sein.³²

4 Planung mit Künstlicher Intelligenz

Dieser Abschnitt der Arbeit wird nun den Bezug zwischen den Techniken der KI einerseits und den Planungsmodellen andererseits herstellen, ohne dabei in der Tiefe einzelne Planungs- oder Koordinationsalgorithmen zu analysieren.

Bei Planung geht es darum einen gewünschten Zustand ausgehend von einem vorgegebenen Ursprungszustand mit Hilfe einer Abfolge von Aktionen zu erreichen. Dabei muss der Planende einige Problemdimensionen berücksichtigen, unter anderem das Problem limitierter Ressourcen, die Suche nach dem Lösungsweg und der Planreihenfolge, das Lernen aus erfolgreicher oder weniger erfolgreicher Plandurchführung sowie die Wahl des richtigen Planausführers.³³

Planungsaufgaben stellen Informationssysteme somit vor sehr komplexe Probleme, die zunehmend an Komplexität gewinnen, je weniger das Planungsgebiet

³¹ Vgl. auch Huber / Nakhaeizadeh (1993), S. 179. Dieses Thema wird im folgenden nicht weiter vertieft.

³² Vgl. Reinersmann (1996), S. 260.

³³ Vgl. Mardhana (2001), S. 62 f.

eingegrenzt werden kann und je dynamischer die Umwelt ist³⁴. Vielfach kommt erschwerend hinzu, dass das Zielsystem, auf das die Planung ausgerichtet ist, nicht immer statisch ist und sich gegebenenfalls während der Planungsperiode oder während der Planausführung ändert. Aus diesem Grund werden in der Praxis oft Multiagentensysteme eingesetzt. Hier wird zum einen die Komplexität der Planungsaufgabe durch die Dekomposition der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben massiv reduziert, zum anderen die Möglichkeit der parallelen Bearbeitung von Planungsaufgaben durch mehrere Agenten genutzt.³⁵

Im folgenden werden einige ausgewählte Planungsansätze kurz vorgestellt. Vertiefend wird in Abschnitt 4.4 auf kontinuierliche verteilte Planung eingegangen.³⁶

4.1 Logikbasierter Planungsansatz

Der logikbasierte Planungsansatz ist in weiten Teilen analog zu den regelbasierten Systemen³⁷. Der Plan, also eine Abfolge von Aktionen, wird dann ausgeführt, wenn der Ursprungszustand den Prämissen für die Planausführung entspricht.

Die Schwierigkeit bei diesem Ansatz besteht einerseits in der Identifikation der Übereinstimmung des Ursprungszustandes mit den Prämissen und andererseits der Wirkungsprognose der einzelnen Aktionen.

4.2 Operator-Based-Planning

Hier verkörpern Operatoren Aktionen und Handlungen. Dieser Ansatz geht davon aus, dass ein Operator nur die explizit angesprochenen Umweltvariablen beeinflusst und alle anderen Variablen durch eine Aktion unberührt bleiben. Es werden verschiedene Operatoren unterschieden, so zum Beispiel prozedurale und deklarative Operatoren.

³⁴ Vgl. hierzu auch Elst / Schmalhofer (1997), S. 86 f.

³⁵ Vgl. Jardins et al. (1999), S. 13.

³⁶ Die folgenden Abschnitte orientieren sich grundlegend an Mardhana (2001), S. 63 ff.

³⁷ Siehe auch Abschnitt 2.1.

4.3 Fallbasiertes Planen

Fallbasiertes Planen besteht grundlegend aus der Suche nach Plänen, die in ähnlichen Situation in der Vergangenheit zum Erfolg geführt haben. Dieses Vorgehen ist analog zum fallbasierten Schließen³⁸ und hat die dort erwähnten Vor- und Nachteile.³⁹

4.4 *Continual*/Distributed Planning

Der Ansatz des kontinuierlichen verteilten Planens setzt autonome Agenten ein, die einen Plan konstruieren und diesen dann ausführen.⁴⁰

Unter autonomen Agenten werden hier voneinander unabhängige Expertensysteme verstanden, die handeln und kommunizieren können. Die Kommunikation findet in erster Linie zwischen den Agenten statt. „Handeln“ bedeutet in diesem Zusammenhang eine Änderung des inneren Zustandes oder eine Änderung der Umwelt⁴¹.

Das ursprünglich komplexe Gesamtproblem wird in leichter lösbare Teilprobleme zerlegt und dann auf Agenten verteilt. Die einzelnen Agenten kooperieren miteinander um die Lösung insgesamt zu optimieren⁴².

³⁸ Siehe auch Abschnitt 2.7.

³⁹ Vgl. Spallazzi (2001), S. 3.

⁴⁰ Vgl. hierzu und zum folgenden: Grosz / Hunsberger / Kraus (1999), S. 23 f.; Jardins et al. (1999), S. 13 ff. und Jardins / Wolverton (1999), S. 45 ff.

⁴¹ Vgl. Gosmann (1992), S. 45 ff.

⁴² Vgl. Konrad (2001), o. S.

Das Verfahren lässt sich in verschiedene Einzelschritte untergliedern:

- Aufgabendekomposition,
- lokale Planformulierung,
- lokale Planabstraktion,
- Kommunikation und Koordination,
- Planzusammenführung,
- Kommunikationsplanung,
- Planausführung,
- kontinuierliche Plananpassung und
- Reallokation von Aufgaben.⁴³

Zunächst wird, wie oben bereits erläutert, die Gesamtaufgabe im Rahmen der Aufgabendekomposition in Teilaufgaben zerlegt und auf die Agenten verteilt.

Danach wird der Agent, ausgestattet mit dem Wissen über seine Ziele und die Ziele des Agentensystems, Wissen über den Ausgangszustand und die zur Zielerreichung möglichen Aktionen, zur lokalen Planformulierung schreiten. Da regelmäßig Unsicherheit herrscht, wird der Agent für unterschiedliche Ausprägungen der Umweltvariablen mit seiner Planung Vorsorge treffen, indem er verschiedene „Äste“ in der Aktionsfolge anlegt.

Die lokale Planabstraktion ist wichtig für die Koordination der Agenten. Hierbei wird der lokale Plan in seiner ganzen Detaillierung auf ein höheres Abstraktionsniveau gebracht. Dies dient der Vereinfachung und Rationalisierung der Planabstimmung, da nicht jedes Plandetail zur Verbesserung des globalen Plans beitragen kann.

Zur Kommunikation und Koordination existieren verschiedene Konzepte: Auf der einen Seite eher marktlich koordinierte Systeme⁴⁴, auf der anderen Seite die eher hierarchisch koordinierten Systeme mit einer zentralen Koordinationsinstanz⁴⁵. Bei der marktlichen Koordination treten die Agenten direkt in Verhandlung miteinander und stimmen ihre Teilpläne und Aktionen miteinander ab. Die hierarchisch koordinierten Systeme setzen auf eine zentrale Instanz mit

⁴³ Vgl. hierzu und zum folgenden: Durfee (2001), S. 143 f.

⁴⁴ Vgl. Grosz / Hunsberger / Kraus (1999), S. 23 f.

⁴⁵ Vgl. neben Durfee (2001), S. 143 f. auch Jardins / Wolverton (1999), S. 45 ff.

Überblick über alle (abstrahierten) Teilpläne und der Autorität, diese Pläne an die Erfordernisse des globalen Zielsystems anzupassen.

Diese zentrale Instanz führt nun die Teilpläne zusammen und beseitigt eventuell bestehende Widersprüche sowie Ineffizienzen mit Hilfe eines Koordinationsmechanismus.

Nachdem die Planzusammenführung beendet ist, plant der Koordinationsagent im Rahmen der Kommunikationsplanung die notwendigen Kommunikationsakte zwischen den Agenten. Dies kann beispielsweise das Ergebnis einer Aktion im Rahmen der Planausführung sein.

Nun wird der globale Plan wieder auf die lokale Ebene heruntergebrochen um dort von den Agenten ausgeführt zu werden.

Durch die schon mehrfach erwähnte Eigenschaft der Umwelt, steten Veränderungen unterworfen zu sein, kann es notwendig werden die Pläne (lokal wie auch global) zu ändern. Sind die Änderungen nicht gravierend, so reicht regelmäßig eine Änderung des lokalen Plans bei einzelnen Agenten, ohne das eine Anpassung des globalen Plans notwendig wird. Hier gilt es abzuwägen ab wann eine notwendige Änderung gravierend genug ist, um den Aufwand einer globalen Neuplanung zu rechtfertigen.

Durch die exogene Vorgaben der Aufgabenverteilung kann es zu einer unproportionalen Belastung einzelner Agenten kommen, so dass es sinnvoll sein kann, eine Reallokation der Aufgaben vorzunehmen. Die Agenten können durch die Publikation ihrer abstrakten Pläne feststellen, welche Agenten überbelastet und welche Agenten nicht ausgelastet sind. So ist es möglich, eine Umverteilung der Aufgaben vorzuschlagen.

Zur Bewertung der verteilten Planungsansätze.⁴⁶

Verteiltes Planen und Problemlösen erhöht die Verarbeitungsgeschwindigkeit durch die Parallelität der Verarbeitung doch erheblich. Auch wird die lokale, auf einen speziellen Bereich fokussierte Plansuche effektiver als die Suche nach einem globalen Plan für alle Teilplanungsbereiche. Ein weiterer Vorteil ist die (mögliche) dezentrale Konfliktbehandlung und die Planevaluierung auf lokaler Ebene.

⁴⁶ Vgl. hierzu und zum folgenden: Mardhana (2001), S. 65.

Problematisch, weil noch nicht endgültig erforscht und optimiert, ist die Verteilung von Planungs- und Kontrollaufgaben im Agentensystem. Das gleiche gilt für das Management von Konflikten und Kommunikation. Ein weiteres Feld mit Verbesserungspotential in der Zukunft ist sicherlich das verteilte Lernen der Systeme

5 Fazit und Ausblick

Die in dieser Arbeit vorgestellten Fähigkeiten der KI können in der betrieblichen Praxis an vielen Stellen sinnvolle Dienste leisten. Durch Auswahl der zur jeweiligen Situation am besten passenden Technologie (oder einer sinnvollen Kombination) lassen sich in der Praxis oft gute Ergebnisse erzielen.

Vielfach wurde jedoch Abstand genommen von dem ursprünglich sehr umfassenden Anspruch der KI-Forschung. Vielmehr werden die Systeme heute in sehr eng eingegrenzten Bereichen eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass das generelle Problem der Wissensimplementierung in den Hintergrund tritt, da die Komplexität der Wissensbasis so in einem angemessenen Bereich bleibt. So leisten KI-basierte Planungssysteme gute Dienste im Bereich der Logistik, Prozessplanung, Wartungsplanung sowie im Risiko- und Krisenmanagement.⁴⁷

KI-Planungssysteme kämpfen mit den gleichen Problemen wie auch die menschlichen Planer: die Komplexität der realen Welt mit all ihren Umweltvariablen und den oft nicht nachvollziehbaren Wirkungszusammenhängen.

Um mit der Komplexität und den Datenmengen Schritt zu halten sind verteilte Planungssysteme sicherlich sinnvoll. Gerade in diesem Bereich ergeben sich neue, interessante Forschungsfelder.

Dies betrifft Themen wie das kollektive Lernen der Agenten, die Kommunikation innerhalb des Systems und die Koordination der Planer.

Die von mir bearbeitete Literatur enthielt nur sehr rudimentäre Hinweise auf erfolgreiche betriebswirtschaftliche Anwendungen. Sicherlich ergeben sich spannende Perspektiven mit dem Versuch den Themenbereich Strategische Unternehmensplanung in seiner ganzen Komplexität mit KI-basierten Planungssystemen in Verbindung zu bringen.

⁴⁷ Vgl. hierzu und zum folgenden: Mardhana (2001), S. 63.

Literaturverzeichnis

- BAUMGART-SCHMITT, Rudolf (Hrsg.): *Praktische Anwendungen Neuronaler Netze*. Hamburg (LIT) 1996. (= Reihe Schmalkalden. 2)
- DURFEE, Edmund H.: *Distributed Problem Solving and Planning*. In: *Lecture Notes in Computer Science*, Jg. 2001, H. 2048 der Gesamtfolge, S. 118-149.
- ELST, Ludger van; SCHMALHOFER, Franz: *Die Persistenz von Inferenzen in einem verstehensbasierten kognitiven Modell*. In: *Kognitionswissenschaft*, Jg. 1997, H. 6, S. 86-98.
- GABRIEL, Roland (Hrsg.); JAEGER, Arno (Hrsg.): *Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Potentiale und Anwendungen*. Bochum 1993. (= Arbeitsbericht. 55)
- GOSMANN, Reiner: *Entwurf eines Blackboard-Rahmensystems für die Arbeitsplanung*. Engelsbach u.a. (Hänsel-Hohenhausen) 1993. (= Deutsche Hochschulschriften. 457)
- GROSZ, Barbara J.; HUNSBERGER, Luke; KRAUS, Sarit: *Planning and Acting Together*. In: *Artificial Intelligence*, 20. Jg. (1999), H. 4, S. 23-24.
- HUBER, K.-P.; NAKHAEIZADEH, G.: *Maschinelle Lernverfahren als Unterstützung beim Wissenserwerb von Diagnose-Expertensystemen*. Aus: Puppe, Frank (Hrsg.): *Expertensysteme 93: 2. Deutsche Tagung Expertensysteme (XPS-93)*, Hamburg, 17. - 19. Februar 1993. Berlin u.a. (Springer) 1993. S. 167-180.
- JARDINS, Marie E. des; WOLVERTON, Michael: *Coordinating a Distributed Planning System*. In: *Artificial Intelligence*, 20. Jg. (1999), H. 4, S. 45-53.
- KONRAD, Erhard: *Wissensbasierte Systeme: Stand und Perspektiven*. Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Informatik, WBS-Bericht 1/2001 Als Manuskript gedruckt.
- KURBEL, Karl: *Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: eine anwendungsorientierte Einführung in wissensbasierte Systeme*. Berlin u.a. (Springer) 1989.
-

-
- MARDHANA, Ewin: *Overview of Distributed Collaborative Planning: Concepts and Applications*. In: *IECI Japan Series*, 3. Jg. (2001), H. 2, S. 62-73.
- MERTENS, Peter; GRIESE, Joachim: *Integrierte Informationsverarbeitung 2. Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie*. Wiesbaden (Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH) 2000.
- NAUCK, Detlef; KLAWONN, Frank; KRUSE, Rudolf: *Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme: Grundlagen des Konnektionismus, neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden*. Braunschweig u.a. (Vieweg) 1996.
- PUPPE, Frank (Hrsg.): *Expertensysteme 93: 2. Deutsche Tagung Expertensysteme (XPS-93)*, Hamburg, 17. - 19. Februar 1993. Berlin u.a. (Springer) 1993.
- PUPPE, Frank: *Einführung in Expertensysteme. 2. Auflage*. Berlin u.a. (Springer) 1991. (= Studienreihe Informatik.)
- REINERSMANN, Martina: *Wissensbasierte Entscheidungsunterstützungssysteme. Ein interdisziplinärer Ansatz zur Entwicklung eines problem- und benutzerorientierten Gestaltungskonzepts*. Bochum (Brockmeyer) 1997. (= Bochumer wirtschaftswissenschaftliche Studien. 146)
- RICHTER, Michael M.: *Prinzipien der Künstlichen Intelligenz. Wissensrepräsentation, Inferenz und Expertensysteme* Stuttgart (B. G. Teubner) 1989. (= Leitfäden und Monographien der Informatik)
- ROMMELFANGER, Heinrich: *Fuzzy-decision-support-Systeme: Entscheiden bei Unschärfen*. Berlin u.a. (Springer) 1994.
- SCHAEER, August-Wilhelm; KRAEMER, Walter: *Konzeption und Realisierung eines Expertenunterstützungssystems im Controlling*. o. O. 1989.
- SCHAFE, Peter: *Künstliche Intelligenz - Überblick und Grundlagen: grundlegende Konzepte u. Methoden zur Realisierung von Systemen der künstlichen Intelligenz. - Korrigierter Nachdruck*. Mannheim u.a. (Bibliogr. Inst.) 1986. (= Reihe Informatik)
- SCHWANENBERG, Stefan: *Neuronale Netze als Segmentierungsverfahren für die Marktforschung*. Lohmar, Köln (Josef Eul Verlag) 2001. (= Marketing. 16)
-

-
- SPALAZZI, Luca: *A Survey on Case-Based Planning*. In: *Artificial Intelligence Review*, 16. Jg. (2001), H. 1, S. 3-36.
- STAHLKNECHT, Peter; HASENKAMP, Ulrich: *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona u. a. (Springer) 1997.
- WANDEL, Hans-Ulrich: *Expertensysteme in der strategischen Planung*. Göttingen (Unitext-Verlag) 1992. (= Göttinger Wirtschaftsinformatik. 4)
- ZELEWSKI, Stephan von: *Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz: eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse*. Bonn (Wehle) 1986.
- ZIMMERMANN, Hans-Jürgen: *Prinzipien und Anwendungspotentiale der Fuzzy Technologien*. Aus: Gabriel, Roland (Hrsg.); Jaeger, Arno (Hrsg.): *Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Potentiale und Anwendungen*. Bochum 1993. (=Arbeitsbericht. 55) S. 7-26.
-