

Intelligente Planungsverfahren

Jürgen Sauer, Universität Oldenburg



PD Dr. Jürgen Sauer leitet die Arbeitsgruppe "Wissensbasierte Planungssysteme" in der Abteilung Informationssysteme und das Softwarelabor des Fachbereichs Informatik der Universität Oldenburg.

In betriebswirtschaftlichen Anwendungsszenarien existiert eine Reihe von Planungsproblemen. Dabei wird Planung sehr allgemein definiert und reicht vom Fabriklayout über Produktions- und Distributionsplanung bis hin zu Personal- und Finanzplanung. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf Ablaufplanung, vor allem in den Bereichen Produktion und Logistik. In den angebotenen Softwaresystemen (PPS- und ERP-Systemen) dominiert eine sukzessive Planungsphilosophie, bei der die Ablaufplanung in Teilaufgaben (Grob-, Mengen-, Terminplanung, Maschinenbelegung) zerlegt wird, die dann nacheinander gelöst werden. Die verwendeten Verfahren sind entweder recht einfache Berechnungen auf Basis aggregierter Werte oder komplexe Algorithmen zur Optimierung bestimmter Zielfunktionen, die sich aber in der Praxis häufig als nicht tauglich erweisen, da die getroffenen Annahmen die dynamische und komplexe Planungsumgebung nicht berücksichtigen. Wichtige Aufgaben sind daher eine simultane Termin- und Kapazitätsplanung und eine reaktive Ablaufplanung. Aktuelle Entwicklungen, wie z.B. das Supply Chain Management, erfordern sowohl Planungsaktivitäten einzelner Geschäftseinheiten als auch die Gesamt-

Kontakt:

Universität Oldenburg
Fachbereich Informatik
Escherweg 2
D-26121 Oldenburg
E-Mail: sauer@informatik.uni-oldenburg.de

sicht bzw. Koordination dieser Planungsaktivitäten, um globale Ziele nicht aus den Augen zu verlieren. Die hierzu vorgestellten Planungssysteme (Advanced Planning Systems) integrieren bereits "intelligente" Verfahren.

Ablaufplanung

Ein Ablaufplan enthält die zeitliche Zuordnung von Aktivitäten zu limitierten Ressourcen, wobei unterschiedliche Nebenbedingungen berücksichtigt und bestimmte Ziele erreicht bzw. optimiert werden [1]. Für die Planung sind zu berücksichtigen:

- Aufträge zur Herstellung von Produkten. Die Herstellung wird u.a. über Varianten (Arbeitspläne) mit Arbeitsschritten (Operationen) und darin verwendeten Ressourcen beschrieben.
- Maschinen, Rohstoffe und Personal als Ressourcen mit bestimmten Kapazitätsrestriktionen.
- Harte Nebenbedingungen (Hard Constraints) vor allem technischer Art, die unbedingt eingehalten werden müssen.
- Weiche Nebenbedingungen (Soft Constraints), die in bestimmten Grenzen verletzt werden können. Damit werden u.a. betriebswirtschaftliche Zielsetzungen beschrieben.

Zudem ist die Planungsumgebung sehr dynamisch, d.h. dass häufig auf Ereignisse aus dem Planungsumfeld reagiert werden muss, was zu Änderungen des Plans führt.

Ablaufplanungsprobleme gehören zu den sehr komplexen Problemstellungen, d.h. die Anzahl möglicher Lösungen ist in der Regel exponentiell groß und eine "intelligente" Suche ist notwendig. Verfahren dazu kommen sowohl aus dem Operations Research (OR) als auch aus der Künstlichen Intelligenz (KI).

Im Bereich des OR werden bereits seit Anfang der 50er Jahre Ablaufplanungs-

probleme untersucht, wobei der Schwerpunkt auf die Optimierung einzelner Zielfunktionen bei idealisierten Problemstellungen gelegt wird.

Seit Anfang der 80er Jahre werden Methoden der KI eingesetzt, um die Lösung praktischer Ablaufplanungsprobleme durch neue Modellierungs- und Problemlösungstechniken zu unterstützen. Die wichtigsten dieser Verfahren zur "intelligenten" Planung werden nachfolgend kurz beschrieben.

Ablaufplanung mit Heuristiken

Der Einsatz von Heuristiken stützt sich auf heuristische Suchverfahren und allgemeine Problemlösungsheuristiken, wie z.B. die Problemzerlegung. Diese grundlegenden "Heuristiken" werden mit Domänenwissen verbunden, um effizient nach Lösungen zu suchen. Die am weitesten verbreitete Heuristik ist die auftragsbasierte Problemzerlegung. Hier wird jeweils ein noch nicht eingeplanter Auftrag gewählt und dann vollständig verplant, d.h. für alle Schritte des Auftrags werden passende Ressourcen und Zeitintervalle gewählt. Analog lassen sich ressourcen-, operations- und zeitbasierte Heuristiken angeben.

In den Auswahlentscheidungen werden z.B. Prioritätsregeln, Expertenwissen der Benutzer, Kapazitätsanalysen oder auch Kombinationen verschiedener Wissensarten eingesetzt.

Für die reaktive Planung werden überwiegend Reparaturheuristiken eingesetzt, die auf die spezifischen Ereignisse der Planungsumgebung reagieren, indem sie mögliche Umplanungsalternativen finden und bewerten [2].

Ablaufplanung mit Constraints

Constraint-basierte Ansätze gehören zu den ersten im Bereich der KI vorgestellten Lösungsansätzen. Constraints

sind auf zwei Arten in die Lösungssuche integriert.

Im ersten Fall werden die Constraints explizit dargestellt und zur Steuerung der Suche bzw. zur Einschränkung des Suchraums verwendet. Dazu werden dann proprietäre Verfahren eingesetzt, d.h. es werden "eigene" Repräsentationen und "eigene" Verfahren zur Verarbeitung der Constraints verwendet.

Im zweiten Fall werden Techniken der Constraint-Programmierung verwendet. Dabei wird das Ablaufplanungsproblem als Constraint Satisfaction Problem (CSP) dargestellt und mit Algorithmen zur Lösung von CSP verarbeitet. Ein CSP wird definiert durch Variablen (z.B. Operationen, Ressourcen) mit zugehörigen endlichen Wertebereichen und Constraints zwischen den Variablen. Ein Constraint beschränkt die möglichen Wertebereiche der beteiligten Variablen. Ein CSP ist gelöst, wenn jede Variable mit einem erlaubten Wert belegt werden kann und alle Constraints erfüllt sind. Falls keine Lösung gefunden wird, muss ein "neues" CSP definiert werden, indem Constraints verändert werden. Als Lösungsverfahren werden entweder Verfahren verwendet, die systematisch Lösungen erzeugen und dann die Constraints überprüfen, oder solche, die einen aktiven Gebrauch der Constraints möglich machen, um den Suchraum geschickt zu begrenzen [3]. Systeme zur Constraint-Programmierung sind u.a. CHIP [4], ECLIPSE [3] und ILOG [5].

Ablaufplanung mit Fuzzy-Techniken

Fuzzy-Techniken erlauben die Darstellung und Verarbeitung des im Planungsbereich vorhandenen dynamischen und unvollständigen Wissens, z.B. geschätzte Zeitangaben, Soft Constraints oder aggregierte Daten. Fuzzy-Mengen beschreiben graduelle Zugehörigkeiten eines Elements zu einer Menge. So lassen sich ungenaue Werte und sprachliche Konzepte wie

"kleiner, mittlerer oder großer Ressourcenbedarf" (linguistische Variablen) modellieren. Die Fuzzy-Menge stellt dar, mit welcher "Wahrscheinlichkeit" die Aussage durch einen eingegebenen "scharfen" Wert erreicht ist.

Über Fuzzy-Regeln kann aus diesen Werten neues Wissen, z.B. der Plan, abgeleitet werden. Die Eingabewerte werden zunächst als Fuzzy-Menge dargestellt. Dann werden Verknüpfungsoperationen und ein Inferenzverfahren verwendet, um über die Regeln die gewünschten Ausgabewerte zu bestimmen. Diese werden wieder in "scharfe" Ausgabewerte übersetzt. Fuzzy-Systeme können als spezielle regelbasierte Systeme bezeichnet werden. Anwendungsbeispiele sind u.a. in [6] zu finden.

Ablaufplanung mit Neuronalen Netzen

Neuronale Netze gehören zu den Naturanalogen Verfahren, in denen biologische Prinzipien für die Lösung von Problemen angewendet werden. Ein Neuronales Netz besteht aus einer Menge verbundener Neuronen (Knoten). Jedes Neuron wird charakterisiert durch die Summe der gewichteten Eingangswerte, die mittels einer Schwellwertfunktion das Schalten des Neurons und damit die Weitergabe eines Ausgangswerts bewirken. Das gesamte Netz realisiert so eine komplexe Funktion, die angelegte Eingabewerte über die gewichteten Eingaben und die Schwellwertfunktionen in eine Menge von Ausgabewerten überführt. Über die Anpassung von Gewichtsfunktionen können die Netze lernen (trainiert werden), und sie weisen ein robustes Verhalten gegenüber ungenauen Eingaben auf. Nachteilig sind die mangelnde Transparenz des Verhaltens und die starre Struktur bezüglich Ein- und Ausgabe.

Verfahren mit Neuronalen Netzen werden hauptsächlich in der Mustererkennung, Prognose, Klassifizierung und Datenanalyse verwendet. Für Ablaufplanungsprobleme werden speziell

le Netztypen verwendet, die Planung als Optimierungsproblem oder als Zuordnungsproblem interpretieren.

Ablaufplanung mit iterativen Verbesserungstechniken

Iterative Verbesserungsverfahren (auch lokale Suchverfahren/Metaheuristiken) werden vor allem für kombinatorische Optimierungsprobleme eingesetzt. Die Verfahren beruhen auf der Suche nach benachbarten Lösungen, d.h. nach Ablaufplänen, die sich nur wenig unterscheiden, um so schrittweise zu einer optimalen Lösung zu kommen [7]. Operatoren, die zur Erzeugung benachbarter Pläne verwendet werden, sind z.B.

- Vertauschen von Aufträgen,
- zeitliche Verschiebung von Operationen oder
- Verwendung alternativer Ressourcen.

Alle Verfahren starten mit initialen Lösungen, die mit einfachen Heuristiken ermittelt werden, und versuchen, ausgewählte Lösungen schrittweise zu verbessern. Abbruchbedingungen sind das Erreichen einer Zeitschranke oder ausbleibende Verbesserungen. Positiv ist auch die "anytime"-Eigenschaft der Verfahren, d.h. zu jeder Zeit existieren verwendbare Lösungen. Basis der Verfahren ist der Hill-Climbing-Algorithmus.

Kritische Elemente sind die Operationen zur Veränderung der Lösung und die Bewertungen, da sie die Richtung und die Qualität der Suche bestimmen. Wesentlicher Nachteil des einfachen Verfahrens ist, dass es in einem lokalen Optimum stecken bleiben kann. Daher wurden Erweiterungen entwickelt, die im Laufe der Suche auch schlechtere Lösungen akzeptieren:

- Simulated Annealing ist ein probabilistisches Verfahren, bei dem mit abnehmender Wahrscheinlichkeit schlechtere Lösungen akzeptiert werden.
- Threshold Accepting akzeptiert jede Lösung, die "nicht wesentlich" schlechter ist als die bisherige, was durch eine Toleranzschwelle festgelegt ist, die von einem Startwert aus sukzessive auf 0 abgesenkt wird.
- Beim Simulated Annealing wird mit

einer unteren Schranke gearbeitet, die jeweils um einen vordefinierten Wert erhöht wird. Es werden nur die Lösungen akzeptiert, die über dieser Schranke liegen.

- Tabu Search verwendet einen Ringpuffer bestimmter Größe, in dem die zuletzt besuchten Lösungen abgelegt sind. Diese Lösungen dürfen in den nächsten Schritten nicht nochmals besucht werden.

Ablaufplanung mit Genetischen Algorithmen

Genetische Algorithmen (GAs) zählen auch zu den Naturanalogen Verfahren. Wie bei den iterativen Verbesserungsverfahren werden ausgehend von einer Menge von Anfangslösungen solange neue Lösungen gesucht, bis ein bestimmtes Abbruchkriterium erfüllt ist. Die Lösungen sind aber nicht unbedingt aus der Nachbarschaft.

Vorgehensweise und Begriffswelt der GAs sind an die biologische Evolution angelehnt. Ausgehend von einer Menge von Individuen (Lösungen/Plänen), die die Anfangspopulation bilden, werden die Schritte "Selektion" (Auswahl des Paarungspools), "Crossover" (Erzeugung neuer Individuen) und "Mutation" (Veränderung einzelner Individuen) solange durchlaufen, bis ein bestimmtes Kriterium erfüllt ist.

Die Effizienz eines GA ist von verschiedenen Parametern abhängig, die u.a. die Laufzeit und die Lösungsqualität bestimmen. Neben der Größe der Population und der Anzahl durchlaufener Generationen sind dies vor allem die Repräsentation der Individuen und die Funktionen zur Bewertung, zur Selektion, zum Crossover und zur Mutation.

GAs werden nicht nur zur Planung, sondern in einer großen Anzahl von Anwendungsbereichen eingesetzt [8].

Ablaufplanung mit Agenten

Multiagentensysteme (MAS) werden verwendet, wenn Probleme von mehreren eigenständigen "Spezialisten" gemeinsam gelöst werden sollen. Da viele Problemstellungen innerhalb der betrieblichen Planung inhärent verteilt sind und durch organisatorisch verteilte

menschliche Planer gelöst werden, bietet sich eine Betrachtung der MAS auch für Planungsprobleme an.

Im Vordergrund steht dabei die Modellierung ganzer Systeme aus vielen einzelnen Agenten, wobei jeder Agent als eigenständiges Planungssystem aufgefasst werden kann. Wesentliche Merkmale eines solchen Agenten sind [9]:

- Autonomie: Agenten kontrollieren sich selbst, ohne Eingriff von außen.
- Reaktivität: Agenten können ihre Umgebung wahrnehmen und auf Änderungen reagieren. Hierdurch kann reaktive Planung realisiert werden.
- Proaktivität: Agenten handeln zielgerichtet aus "eigenem Antrieb". Sie beachten daher immer eine bestimmte Zielsetzung.
- Intelligenz: Agenten können spezielle Problemstellungen bearbeiten. Im Fall der Ablaufplanung besitzen sie spezifisches Planungswissen.
- "Soziale" Fähigkeiten: Agenten interagieren mit anderen Agenten, um gemeinsam Probleme zu lösen. Als Organisationsformen sind hierarchische, marktorientierte oder kooperierende Strukturen möglich.

Prinzipieller Vorteil von agentenbasierten Systemen ist die asynchrone, parallele Problembearbeitung, die zu schnelleren und besseren Ergebnissen führen kann. Zudem können komplette Systeme modelliert werden und nicht nur der Planungsanteil darin. Probleme ergeben sich vor allem im Bereich der Kommunikation und der Einbindung von Benutzern.

Zusammenfassung

Insgesamt zeigt sich bei der Betrachtung der vorgestellten und verfügbaren Verfahren, dass es "den" Planungsalgorithmus nicht gibt, sondern dass abhängig von der Planungsaufgabe, den Umgebungsbedingungen und den zu erreichenden Zielen jeweils recht unterschiedliche Verfahren zum Einsatz kommen können. In neu zu entwickelnden Systemen sollte es immer die Möglichkeit zur Auswahl unter mehreren Verfahren mit Benutzerinteraktion geben, um eine größtmögliche Freiheit bei der Planung zu erhalten.

Literatur

- [1] Sauer, J.: Multi-Site Scheduling - Hierarchisch koordinierte Ablaufplanung auf mehreren Ebenen. Universität Oldenburg 2002.
- [2] Kerr, R. M., Szelke, E.: Artificial Intelligence in Reactive Scheduling. New York 1995.
- [3] Wallace, M.: Practical Applications of Constraint Programming. In: Constraints 1/1996, S. 139-168.
- [4] Simonis, H.: The CHIP System and its Applications. In: Proceedings Principles and Practice of Constraint Programming. Berlin 1995, S. 643-646.
- [5] Le Pape, C., Puget, J.-F., Moreau, C., Darnéau, P.: Predictive Personnel Management. In: IEEE Intelligent Systems (January/February 2000) 2000, S. 73-76.
- [6] Biethahn, J., Höhnerloh, A., Kuhl, J., Nissen, V.: Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997.
- [7] Dorn, J.: Iterative Improvement Methods for Knowledge-Based Scheduling. In: AICOM 8 (1995) 1, S. 20-34.
- [8] Nissen, V.: Einführung in Evolutionäre Algorithmen: Optimierung nach dem Vorbild der Evolution. Braunschweig 1997.
- [9] Wooldridge, M.: Intelligent Agents. In: Weiss, G. (Eds.): Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge/Boston 1999, S. 27-77.

Schlüsselwörter:

Ablaufplanung, Genetische Algorithmen, Constraint Programmierung, Fuzzy-Scheduling, Neuronale Netze

Intelligent Scheduling Methods

Scheduling in industrial application areas is one of the very hard tasks to perform. Actual software systems used mostly rely on simple algorithms or complex optimization procedures which both do not provide the results needed. Thus so called "intelligent" scheduling approaches are widely investigated where powerful solution strategies like heuristic search, constraint programming or genetic algorithms are combined with domain knowledge to find "good" schedules that meet all the constraints and goals of the problem domain. This article gives an overview of these techniques as well as references to applications and further readings.

Keywords:

scheduling, genetic algorithms, constraint programming, fuzzy-scheduling, neural networks