

# Erstellung von Dispositionsvorschlägen durch ein Multiagenten-System

Christian Kirschke

Fachbereich Automatisierung und Informatik  
Hochschule Harz  
Friedrichstr. 57-59  
38855 Wernigerode  
ckirschke@hs-harz.de

**Abstract:** In diesem Beitrag wird auf die Problemstellung der Verteilungsoptimierung bei der Fahrzeugdisposition eingegangen. Es wird der Lösungsansatz erläutert, der mit dem Software-System: Elektronisches Fahrzeugtagebuch (TaBu) verfolgt wird. Dieser besteht im Einsatz eines Multiagenten-Systems (MAS). Der Beitrag stellt im Besonderen den Verteilungsvorgang der Leistungen auf Fahrzeuge und die Komponenten eines MAS im Umfeld der Disposition dar.

## 1 Problemstellung

In der Regel wird der normale Einsatzplan von einem oder mehreren Disponenten sorgfältig, unter Berücksichtigung vieler Randbedingungen, wie etwa Fahrzeugreichweiten oder durchzuführenden Fristen, geplant. Unter Stressbedingungen, etwa bei Streckenstörungen oder Fahrzeugausfällen, kann diese Sorgfalt nicht garantiert werden. Dann ist es wichtig eine schnelle Lösung für die Problemsituation zu finden. Wird diese Lösung durch den Menschen gefunden, so wird sie nur dann optimal sein, wenn dieser viel Erfahrung im Bereich der Fahrzeugdisposition hat.

Eine besondere Schwierigkeit besteht im Falle einer Störung darin, dass viele Informationen sowohl vor einer ausgefallenen Disposition als auch im weiteren zeitlichen Verlauf vorhanden sind. So müssen nicht nur Kosten zurückliegender bereits erbrachter Leistungen berücksichtigt werden, sondern auch Auswirkungen zukünftiger Planungen. Es gilt nun den Verlust, beispielsweise eines Triebfahrzeuges, zu kompensieren. Dies kann geschehen, indem ein freies Ersatzfahrzeug hinzugezogen wird. Besser wäre aber durch geschickte Umverteilung anderer zu disponierender Leistungen für freie Ressourcen zu sorgen. Folglich ist es unzureichend lediglich einzelne Fahrzeug-Leistung-Zuordnungen zu betrachten. Es müssen mehrere Dispositionsentscheidungen, und dadurch ein Fülle von Informationen, geprüft werden.

## 2 Optimierungsverfahren

Der Suchraum für die Lösung des vorliegenden Verteilungsproblems besteht aus allen Permutationen von Fahrzeug-Leistung-Zuordnungen. Im folgenden Abschnitt sollen einige mögliche Lösungsansätze für das Verteilungsproblem (stark vereinfacht aufgrund des begrenzten Umfangs des Beitrages) dargestellt werden.

### 2.1 Greedy-Algorithmen

Greedy-Algorithmen gehen bei ihrer Suche nach einem globalen Optimum für ein Problem so vor, dass sie in jeder Situation die lokal beste Wahl treffen. Die Gefahr, dass der Algorithmus in einem lokalen Optimum endet, ist allerdings dadurch gegeben (vgl. [Co04]).

Eine Umsetzung bei dem vorhandenen Zuordnungsproblem von Leistungen zu Fahrzeugen könnte so aussehen, dass immer das erste Fahrzeug, welches für die gerade zuzuordnende Leistung am besten erscheint, die Leistung zugeteilt bekommt.

### 2.2 Evolutionäre Algorithmen (EA)

EA sind an den biologischen Prozess der Evolution angelehnte Algorithmen. Es handelt sich bei den EA um einen generischen Ansatz der Problemlösung, der auf eine Vielzahl von Problemen anwendbar ist. Die EA zählen zu den Aproximationsverfahren, die sich einer Lösung nähern. Sie terminieren, wenn ein gewisser Schwellenwert der Lösungsgüte erreicht ist. Der Ablauf lässt sich in folgende vier Schritte einteilen:

1. Zufällig Generierung von verschiedenen Lösungsvorschlägen (Startpopulation)
2. Berechnung der Güte der Lösungsvorschläge mittels Zielfunktion (Fitness)
3. Selektion der besten Vorschläge für die Erschaffung der nächsten Generation der Lösungs-Population („Survival of the fittest“)
4. Neuordnung der vorhandenen Lösungsbestandteile (Rekombination oder Mutation).

Ist ein bestimmtes Maß der Lösungsvorschlagsgüte erfüllt, bricht der Algorithmus ab. Andernfalls fährt er mit der 2. Phase fort (vgl. [Ge04], S. 33ff).

Eine Umsetzung könnte so erfolgen, dass die Bestandteile (Gene) einer Lösung (Chromosom) aus einer Fahrzeug-Leistung-Zuordnung bestehen. Eine Population würde aus der Gesamtheit verschiedener Zuordnungen bestehen. Die Güte eines Lösungsvorschlages wäre in der Summe der Güte aller zugehörigen Zuordnungen wieder zu finden. Die Neuordnung der Lösungsbestandteile besteht dann im Austausch von Zuordnungen. Um keine ungültigen Lösungen zu produzieren, etwa durch mehrmaliges Einbringen von Zuordnungen mit gleichen Bestandteilen (mehrmals gleiches Fahrzeug oder gleiche Leistung in einem Zeitraum), müsste eine abschließende Prüfung durch einen geeigneten Reparaturmechanismus (Konzept in EA vorhanden) erfolgen.

### 2.3 Tabu<sup>1</sup>-Search

Bei der Tabu-Suche (vgl. [G197], Kapitel 1) wird eine Liste über die jeweiligen Schritte geführt, die bei der Transformation von einem Zustand zum nächsten, angewendet wurden. Diese Änderungen der Lösung sind für eine definierte Anzahl an Schritten (teilweise dynamisch anpassbar) gesperrt, so dass Zyklen bei der Suche vermieden werden. Das Konvergieren in einem lokalen Optimum wird vermieden, indem sowohl bessere als auch schlechtere Folgezustände angenommen werden können. Der Ablauf lässt sich vereinfacht in folgende vier Schritte einteilen:

1. Wahl des Startzustandes
2. Prüfung des Stopp-Kriteriums
3. Wahl eines Nachbarzustandes mit größter Verbesserung oder geringster Verschlechterung, welche durch einen verfügbaren Schritt erreichbar ist
4. Speicherung des Transformationsschritts (weiter mit 2).

Eine Umsetzung könnte so erfolgen, dass die Lösungszustände aus allen Fahrzeug-Leistung-Zuordnungen bestehen, die zu einem Zeitpunkt existieren. Ein Transformationsschritt würde folglich im Austausch der Fahrzeuge (oder zweier Leistungen) zwischen zwei Zuordnungen bestehen.

### 2.4 Agenten-System

Fortgeschritteneren Optimierungsverfahren (Evolutionäre Algorithmen, Tabu Suche, ...) haben die Gemeinsamkeit, dass sie über Strategien (wie Meta-Heuristiken(vgl. [G197], S. 17)) verfügen, um lokale Optima verlassen zu können, die durch untergeordnete lokale Suchstrategien entstehen. Ein weiterer Lösungsansatz ist der Einsatz eines MAS. Hierbei befasst sich ein Teil der vorhandenen Agenten mit der (lokalen) Optimierung, der ihnen zugewiesenen Aufgabe. Die übergeordneten Aspekte (Protokolle, andere Agenten) des MAS üben die Koordination der Agenten und damit die Erreichung des Gesamtziels aus.

---

<sup>1</sup> Mit Tabu ist nicht das im Beitrag beschriebene TaBu-System gemeint.

Ein wichtiger Vorteil gegenüber anderen Ansätzen ist darin zu sehen, dass ein MAS gut mit der Ausgangssituation eines Störfalls umgehen kann. Dieser zeichnet sich durch das Vorhandensein vieler Informationen bezüglich der Zuordnungen aus. Es wird nicht von einem „leeren“ Anfangszustand ausgegangen.

### **3 Multiagenten-System**

Im Folgenden soll am Elektronischen Fahrzeugtagebuch TaBu ([Hö02]), das an der Hochschule Harz entwickelt wurde, dargestellt werden, in welchen Komponenten der vorliegenden Dispositionssoftware Aspekte von Multiagenten-Systemen wieder zu finden sind. Ein Multiagenten-System ist ein System in dem einzelne Agenten ein globales Ziel durch Ausführung verschiedener Teilaufgaben erreichen wollen (vgl. [We00], S.1).

Das globale Ziel des vorliegenden Agentensystems besteht letztlich darin, alle offenen Dispositionsleistungen optimal auf die zur Verfügung stehenden Fahrzeuge aufzuteilen.

Eine zu verteilende Aufgabe des Multiagenten-Systems besteht in einer zu erbringenden Fahrplanleistung. Eine offene Leistung muss durch ein freies Fahrzeug erbracht werden. Dabei haben die verschiedenen Leistungen verschiedene Eigenschaften, wie etwa die Distanz, die zurückgelegt werden muss.

#### **3.1 Agenten**

Um zu definieren, worin ein Agent besteht oder wie ein Agent zu klassifizieren ist, gibt es in der Literatur viele Ansätze. Ein Ansatz einer operativen Spezifikation beinhaltet Informationen über die Umwelt, die Ziele, die Sinneseindrücke, die Aktionen und die Mechanismen der Aktionsauswahl (vgl. [Fa97]).

Die Umwelt, in der sich die Software-Agenten befinden, besteht, wie bereits in der Problemstellung erwähnt, im Umfeld der Fahrzeugdisposition. Dort sind Entitäten, wie Fahrzeuge (verschiedene Triebfahrzeuge und Waggons) und Leistungen (Fahrplanleistungen, Sonderfahrten, Fristen, Werkstatttermine), anzutreffen.

Im vorliegenden System gibt es zwei Arten von Agenten. Zum einen existieren Agenten, die den jeweiligen (Trieb-) Fahrzeugen/Zuggarnituren zugeordnet sind. Sie haben das Ziel offene Leistungen ihrem zur Verfügung stehenden Fahrzeug zuzuteilen. Ein solcher Agent hat somit Zugriff auf die Zustandsinformationen zu seinem Fahrzeug, welches die Wahrnehmung des Agenten darstellt und sein handeln beeinflusst. Die Aktionen eines solchen Agenten bestehen aus der Berechnung der Bewertung einer offenen Leistung im Hinblick auf die Erbringung durch das zugeordnete Fahrzeug, die zur Verfügung Stellung der so gewonnenen Informationen für andere gleichartige Agenten, die Mitteilung der Gesamtbewertung einer offenen Leistung an einen übergeordneten Agenten und die Zuweisung einer Leistung an das zugeordnete Fahrzeug.

Die Bildung einer Bewertung einer offenen Leistung erfolgt mit einer Funktion, die die verschiedenen Kriterien, wie Rest-Tankreichweite, Kilometer bis zur nächsten Frist oder Wendezeiten (Zeiten zwischen zwei Leistungen) zu der vorhergehenden und nachfolgenden Leistung berücksichtigt und eine geeignete Gesamtbewertung bildet. Aufgrund der Berücksichtigung vieler Kriterien liegt zusätzlich die Schwierigkeit einer Mehrkriterienoptimierung vor (vgl. [Ge04], S. 8f).

Zu bedenken ist, dass die Qualität der Agentenbewertung von der Qualität der Bewertungsfunktion abhängig ist. Umso mehr Kriterien in die Wertung einfließen und umso besser das Verhältnis der Bedeutung eines Kriteriums zu einem anderen Kriterium abgestimmt ist, desto besser ist die Qualität der Bewertung und damit der automatisierten Zuordnung (vgl. [Ki07]).

Zum Zweiten existiert ein übergeordneter, koordinierender Agent. Der so genannte Auktionator. Das Ziel des Auktionators besteht in der Koordination des Zuteilungsprozesses. Seine Aktionen bestehen in der Ermittlung freier und noch zuzuordnender Leistungen, in der Mitteilung dieser an die Agenten der Fahrzeuge, in der Einholung der Bewertungen (Gebote) der Agenten zu den mitgeteilten Leistungen, in der Durchführung des Zuordnungsprozesses und in der Mitteilung über die Vergabe der Leistungen an die Agenten der Fahrzeuge.

### 3.2 Zuteilung der Aufgaben

Für die Aufteilung der vorhandenen Aufgaben existieren verschiedene Strategien. Beispielsweise kann die Aufteilung über Abstimmungen (soziale Entscheidung), Auktionen, Verhandlungen, Vertragsnetze oder Mechanismen eines Marktgleichgewichts erfolgen (vgl. [We00], S. 201ff). In dem vorliegenden System werden die Aufgaben ähnlich wie in einer Auktion verteilt. Bei gleich großen Geboten spielen zusätzliche Überlegungen der Pareto-Effizienz eine Rolle.

Der zentral angesiedelte Auktionator erhält alle offenen Leistungen und ist für deren Verteilung zuständig. Er teilt allen anderen Agenten die gerade zur Verhandlung stehende Leistung mit. Die Agenten bilden jeweils ihr Gebot zu der Leistung, welches aus der Gesamtbewertung aller Kriterien besteht, und teilen dieses dem Auktionator mit. Der Auktionator speichert alle Gebote, die die gleiche Zeitperiode betreffen. Anschließend verteilt er die Leistungen über den Algorithmus der im nachfolgenden Pseudocode angedeutet ist.

Die Verteilung erfolgt so, dass das Gemeinwohl maximiert wird. Die zu maximierende Zielfunktion besteht in der Summe der Gebotsfunktion ( $g$ ) des jeweiligen Agenten ( $a$ ).

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n g(a_i)$$

Durch die unten skizzierte Art der Zuordnung ist die Verteilung Pareto effizient (vgl. [We00], S. 202). Jeder Agent erhält die Zuweisung für die er das höchste Gebot für eine Zuordnung hat, wenn kein anderer Agent über ein höheres oder gleich hohes Gebot verfügt.

```

Function VerarbeiteOffeneLeistungen()
  While offene Leistung vorhanden Do
    setze aktuelle Leistung
    For Each Agenti In Agentenliste Do
      berechne Gebot für aktuelle Leistung für Agenti
      speichere Gebot in Gebotsliste
    End For
    While Gebot in Gebotsliste vorhanden Do
      ermittle höchstes Gebotn aus Gebotsliste
      setze Leistungk auf Leistung von Gebotn
      If existiert Gebotg für Leistungk mit Gebotg gleich Geboth Then
        For Each Agentj mit Gebotg Do
          ermittle nächst bestes Gebotn von Agentj nach Gebotg *
          If kein Gebotn vorhanden Then
            WeiseGebotZu(Agentj, Leistungk)
            Break
          Else
            If Gebotminimal > Gebotn then
              setze Gebotminimal auf Gebotn
            End If
          End If
        End For
        If Leistungk noch nicht zugewiesen Then
          WeiseGebotZu(Agent von Gebotminimal, Leistungk)
        End If
      Else
        WeiseGebotZu(Agent von Geboth, Leistungk)
      End If
    End While
  End While
End Function

Function WeiseGebotZu(Agentx, Leistungy)
  übergib Leistungy an Agentx
  lösche alle Gebote im Bezug auf Leistungy
  sperre Agentx für Zeitraum der Leistungy für Leistungsannahme
End Function

```

\*es ist von einer absteigenden Sortierung der Gebote auszugehen

Pseudocode der Aufgabenverteilung

## **4 Einfluss auf das globale Agentenverhalten**

Der Nutzer kann den Bereich der durch das Multiagenten-System verwalteten Disposition einschränken, indem er sowohl den zeitlichen Rahmen eingrenzt als auch einzelne Fahrzeuge sperren kann. Darüber hinaus kann er zwischen verschiedenen Vorgehensweisen der Agenten bei der Bewertung der Leistungen wählen. Diese sind dabei in zunehmender Restriktion angeordnet. Durch die Wahl des Vorgehens erhält der Nutzer die Möglichkeit auf die Generierung des Ergebnisses Einfluss zu nehmen.

Im Folgenden werden die im vorliegenden System bisher realisierten Strategien der Zuordnung von Fahrzeugen zu den Leistungen dargestellt.

### **4.1 Alle Fahrzeuge**

Wird das Verhalten gewählt, dass sich alle Fahrzeuge an der Auktion beteiligen, so können die Agenten auch Leistungen annehmen, wenn ihren zugehörigen Fahrzeugen im betreffenden Zeitraum schon eine Leistung zugeordnet ist. Hier muss allerdings geprüft werden, ob ein anderes Fahrzeug besser für die dann frei werdende Leistung geeignet ist. Ist dies der Fall, wird die alte Leistung an den Auktionator übergeben. Findet sich kein besseres Fahrzeug, so nimmt der Agent nicht an der Auktion teil.

Die Wiederverteilung einer Aufgabe ist angelehnt an das Verhalten von Agenten im „Contract Net Protocol“ (vgl. [Sa93]). Hierbei können die Agenten sowohl Bieter als auch Anbieter von Aufgaben sein. Der Agent tritt allerdings nicht direkt als Anbieter von Leistungen in Erscheinung, sondern übergibt, wie bereits oben erwähnt, die Aufgabe an den Auktionator.

### **4.2 Freie Fahrzeuge**

Wird das Verhalten gewählt, dass sich nur freie Fahrzeuge beteiligen dürfen, so werden lediglich Gebote von Agenten akzeptiert, deren zugeordnetes Fahrzeug über keine bereits auszuführende Leistung verfügt, welche im Zeitraum der zuzuordnenden freien Leistung liegt.

### **4.3 Ohne Garniturwechsel**

In der Regel wird versucht Umkopplungsvorgänge zu vermeiden. Diese treten beispielsweise auf, wenn einem Triebfahrzeug eine Leistung mit anderen Wagen als den bisher genutzten, in einem längeren Pausenzeitraum zwischen zwei zusammenhängenden Leistungen, zugeordnet werden würde. Mit diesem Verhalten können solche, dann notwendig werdenden Umkopplungsvorgänge ausgeschlossen werden.

## 5 Fazit

Ein Multiagenten-System für die Erstellung verschiedener Dispositionsvorschläge einzusetzen, bietet sich aufgrund der automatischen Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen und der vielfältigen Möglichkeiten des zu Stande Kommens von Zuordnungen mittels verschiedener Agenten-Strategien an. Gerade in Situationen, in denen eine Vielzahl von vorhergehenden und nachfolgenden Informationen einer Leistung eine Rolle spielen, ist der Einsatz von Agenten vorteilhaft. Die Gründe bestehen in der strukturierten Lösung der Teilprobleme der Zuordnung einer Leistung zu einem Fahrzeug und damit in der Gesamtlösung des Verteilens aller offenen Leistungen. Insgesamt betrachtet, benötigt der Disponent durch die Nutzung von generierten Lösungen sehr viel weniger Zeit um eine auftretende Störungssituationen zu beheben. Eine eventuelle abschließende manuelle Anpassung wird in einem wesentlich unkritischeren Rahmen erfolgen können als die komplette manuelle Erstellung einer Lösung.

## 6 Ausblick

Die Implementierung des Multiagenten-Systems in TaBu ist in erster Linie auf die Lösung von Störungsfällen ausgerichtet. Hierbei ist davon auszugehen, dass zu einem zu betrachtenden Zeitpunkt einer Störung, sowohl bereits erbrachte Leistungen als auch zukünftig geplante Leistungen vorliegen. Denkbar wäre allerdings auch der Einsatz des Multiagenten-Systems bei der Planung der Aufgabenverteilung von Beginn an. Dahingehend existieren allerdings effizientere Suchverfahren einer optimalen Lösung. Überlegenswert wäre hier eine Erweiterung des Systems durch diese Verfahren.

## 7 Literaturverzeichnis

- [Co04] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald Rivest, Clifford Stein: Algorithmen – Eine Einführung, Oldenbourg Verlag München Wien, 2004, S. 371ff
- [Fa97] Franklin S, Graesser A: Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents. Proceedings Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages: Intelligent Agents III. Springer-Verlag, 1997, 21-35
- [Ge04] Ingrid Gerdes, Frank Klawonn, Rudolf Kruse: Evolutionäre Algorithmen, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag / GWV Verlag, Wiesbaden, Juli 2004
- [Gl97] Glover F., Laguna M.: Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, 1997, Kapitel 1
- [Hö02] Hörstel J.: Fahrzeugdisposition mit dem Elektronischen Tagebuch Ta-Bu, railmagazin 01, Februar 2002
- [Ki07] Kirschke C.: Verwendung einer Metrik als Grundlage für die Bewertungsfunktion eines Assistentensystems zur Fahrzeugdisposition, In: 8. Nachwuchs-Wissenschaftler-Konferenz, Tagungsband, Fachhochschule Jena (Hrsg.), 2007, S. 213f
- [Sa93] T. W. Sandholm: An implementation of the contract net protocol based on marginal cost calculations. In: Eleventh National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-93), Washington, D.C., 1993, S. 256 - 262.
- [We00] Weiss G. (Editor): Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT-Press, 2000