

Ein agentenbasiertes Konzept zur interaktiven Lösung multikriterieller Tourenplanungsprobleme

Wolf Wenger und Martin Josef Geiger

{w-wenger|mjgeiger}@uni-hohenheim.de

Abstract: Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Konzeption eines agentenbasierten Systems zur Lösung komplexer Fragestellungen aus dem Bereich der Transportlogistik. Hierzu wird die generelle Klasse der Tourenplanungsprobleme betrachtet. Das vorgestellte Konzept bietet dem Anwender die Möglichkeit, eine Vielzahl verschiedener problemspezifischer Charakteristika zu berücksichtigen, welche sich beispielsweise durch das Vorhandensein mehrerer Zielsetzungen ergeben. Darüber hinaus erlaubt das System eine direkte Interaktion mit dem Entscheidungsträger, indem dieser in die Lage versetzt wird, seine artikulierten Präferenzen online zu ändern, falls die bis dato ermittelte präferenzspezifische Lösung nicht befriedigend erscheint. Die Konstruktion zulässiger Lösungen und deren Verbesserung bzw. Veränderung bei angepassten Präferenzinformationen erfolgt mittels lokaler Suchverfahren auf der Basis variabler Nachbarschaftssuche. Um das Konzept zu testen, wurden mehrere Instanzen eines Multi-Depot-Tourenplanungsproblems mit Zeitfensterrestriktionen verwendet und das Lösungsverhalten des Systems für diverse Varianten der anfänglichen Präferenzvorgabe und deren anschließenden Anpassung dokumentiert.

1 Einführung in die Problemstellung

Wir beschäftigen uns mit knotenorientierten Tourenplanungsproblemen, dargestellt durch einen Graphen $G = (V, A)$. Im klassischen Fall enthält hierbei die Menge aller Knoten $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ das Fahrzeugdepot v_0 sowie die zu beliefernden Kunden v_1, \dots, v_n . Um den Bedarf der n Kunden q_1, \dots, q_n zu bedienen, stehen im Depot m Fahrzeuge zur Verfügung, welche die durch die Menge aller Kanten $A = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ zum Ausdruck gebrachten Verbindungen zwischen den Kunden zurücklegen können. Das Befahren einer bestimmten Strecke (v_i, v_j) erfordert Zeit (t_{ij}) und verursacht Kosten (c_{ij}) . Eine zulässige Lösung besteht aus einem Tourenplan, welcher die Belieferung aller Kunden gewährleistet, ohne die gegebenen Fahrzeugkapazitäten Q_k oder deren verfügbare Einsatzzeiten T_k zu überschreiten. Die Minimierung der zurückgelegten Wegstrecke bzw. der insgesamt verursachten Kosten stellt gängigerweise das verwendete Zielkriterium dar. Erweiterungen ergeben sich beispielsweise durch die Berücksichtigung heterogener Fuhrparkstrukturen, tageszeitabhängiger Fahrtzeiten oder weiterer Depots. Des Weiteren werden vielfach kundenspezifische Zeitintervalle vorgegeben [SD88, TBG⁺97]. Neben der Modellierung derartiger Erweiterungen in Form zusätzlicher Nebenbedingungen, werden Tourenplanungsprobleme mehr und mehr unter multikriteriellen Gesichtspunkten analysiert. Relevante Kriterien sind beispielsweise die Minimierung etwaiger Zeitfensterver-

letzungen, die Minimierung der Anzahl verwendeter Fahrzeuge [PM06] oder das Streben nach einer möglichst gleichmäßigen Auslastung selbiger [LU99]. Hierbei auftretende Zielkonflikte sorgen i.d.R. dafür, dass nicht eine einzelne, für alle Kriterien optimale Lösung gefunden werden kann, sondern eine Menge an Pareto-optimalen Lösungen existiert, innerhalb welcher es die am meisten Präferierte zu identifizieren gilt. Zur Bewältigung dieser Aufgabe wird ein interaktiver Ansatz gewählt, welcher den Entscheidungsträger zur Äußerung individueller Präferenzen hinsichtlich der relevanten Kriterien auffordert und darauf aufbauend eine oder mehrere Lösungen ermittelt. Nach Begutachtung dieser präsentierten Lösung(en) hat der Entscheidungsträger die Möglichkeit, seine Präferenzen anzupassen, um andere Lösungen ermitteln zu lassen.

2 Ein agentenbasiertes Konzept zur interaktiven Tourenplanung

Das im Folgenden vorgestellte Konzept knüpft an den beiden generellen Fragestellungen eines Tourenplanungsproblems an. Zum einen muss jedem Fahrzeug eine Teilmenge aller Kunden zugewiesen werden (*Clustering*), zum anderen muss für jedes Fahrzeug das Problem gelöst werden, in welcher Reihenfolge die diesem Fahrzeug zugewiesene Kunden angefahren werden (*Sequencing*).

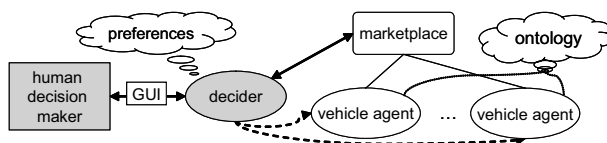


Abbildung 1: Elemente des agentenbasierten Konzepts zur interaktiven Tourenplanung

Für diese Aufgaben stehen dem Konzept verschiedene, miteinander interagierende Agenten zur Verfügung. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Zusammenwirken der einzelnen Elemente. Jedes im Fuhrpark vorhandene Fahrzeug wird durch einen *vehicle agent* repräsentiert, welcher für das *Sequencing* der von diesem Fahrzeug bis dato zu bedienenden Kunden zuständig ist. Darüber hinaus werden durch den *vehicle agent* weitere, derzeit nicht einem bestimmten Fahrzeug zugewiesene Kundenaufträge hinsichtlich der modellierten Zielkriterien bewertet. Auf diese Informationen greift der *decider agent* zurück, um die Aufträge bestimmten Fahrzeugen zuzuweisen. Der *decider* kennt die individuellen Präferenzen des Entscheidungsträgers, welche dieser über eine grafische Benutzeroberfläche (*GUI*) artikuliert. Auf Basis dieser Präferenzen werden die Angebote der Fahrzeugagenten für einen bestimmten Auftrag verglichen und zugeteilt. Außerdem analysiert der *decider agent* den Verbesserungsprozess jedes *vehicle agents*, um gegebenenfalls einzelne Fahrzeugagenten aufzufordern, Aufträge für ein neues Clustering freizugeben. Der *marketplace* dient vorwiegend dem Informationsaustausch zwischen den einzelnen Agenten. Hier werden die Angebote der verschiedenen Fahrzeugagenten für die zur Verfügung stehenden Aufträge gesammelt und vom Decideragenten ausgewertet. Schließlich werden mittels einer so genannten *ontology* die speziellen Charakteristika der verwendeten Fahr-

zeuge beschrieben, um auf einfach Art eine Vielzahl verschiedener Problemstrukturen abzubilden zu können.

3 Experimentelle Untersuchung des Konzepts

Anhand zehn verschiedener Benchmarkdatensätze, entnommen aus [CLM01], wurde das Konzept experimentell getestet. Die beiden hierzu modellierten Zielkriterien, die insgesamt zurückgelegte Distanz $DIST$ sowie die innerhalb eines bestimmten Tourenplans maximal auftretende Zeifensterüberschreitung T_{max} , werden im vorliegenden Fall unter jeweiliger Verwendung oberer und unterer Schranken in die partielle Nutzenfunktionen u_{DIST} bzw. $u_{T_{max}}$ transformiert und mittels einer gewichteten Summe zu einem zu maximierenden Gesamtnutzen $UTILITY$ aggregiert. Über den Gewichtungsfaktor des Kriteriums $DIST$ (w_{DIST}) besitzt der Entscheidungsträger die Möglichkeit, seine individuellen Präferenzen zum Ausdruck zu bringen. Die Agenten des Systems orientieren sich demzufolge bei Bewertungen im Rahmen ihren Entscheidungen an folgendem formalen Zusammenhang:

$$UTILITY = w_{DIST} u_{DIST}(DIST) + (1 - w_{DIST}) u_{T_{max}}(T_{max}), \text{ mit}$$

$$u_{DIST}(DIST) = \frac{UB_{DIST} - DIST}{UB_{DIST} - LB_{DIST}} \text{ bzw. } u_{T_{max}}(T_{max}) = \frac{UB_{T_{max}} - T_{max}}{UB_{T_{max}} - LB_{T_{max}}}$$

Während der Suche nach möglichst optimalen Tourenplänen wurde das System hierbei mit drei verschiedenen Arten von Entscheidungsträgern konfrontiert. Der erste Entscheidungsträger beginnt mit einer relativen Bedeutung des Kriteriums $DIST$ von 1 und reduziert diese sukzessive auf den Wert 0, während der zweite Entscheidungsträger umgekehrt vorgeht. Der dritte simulierte Anwender startet mit einer Kompromisslösung von $w_{DIST} = 0,5$, erhöht das Gewicht bis zum maximalen Wert 1, um es anschließend bis auf 0 zu senken. Die Anpassung von w_{DIST} erfolgt in Schritten von 0,01, wobei den Agenten des Systems zwischen den Anpassungsschritten genügend Zeit zur Ermittlung einer zumindest lokal optimalen Lösung durch neuerliches *Sequencing* bzw. *Clustering* der Kundenaufträge gegeben wird.

Wie Abbildung 2 deutlich zeigt, hängen die erzielten Ergebnisse maßgeblich von der anfänglichen Festlegung des Präferenzparameters w_{DIST} ab. So liefert die Variante mit einem Startwert von $w_{DIST} = 0,5$ meist höhere Nutzenwerte und somit Lösungen, die näher an der Paretofront liegen, als die beiden Varianten mit extremen Ausgangswerten. Ähnliche Ergebnisse konnten für die weiteren Testinstanzen ermittelt werden. Im Detail bedeutet dies für Testinstanz 1, dass im Falle des ersten Entscheidungsträgers anfänglich ein Wert von $UTILITY = 0,926$ für $w_{DIST} = 1$ erzielt werden kann. Durch reduzieren von w_{DIST} kann die maximale Verspätung zwar deutlich verringert werden, jedoch bewirkt die gleichzeitige Erhöhung der zurückgelegten Distanz zunächst einen Rückgang des Gesamtnutzens. Erst für ein $w_{DIST} < 0,61$ kann der negative Effekt durch ein sinkendes u_{DIST} durch die Verbesserung hinsichtlich T_{max} überkompensiert werden, sodass der Gesamtnutzen wieder ansteigt. Für $w_{DIST} = 0$ wird schließlich ein Tourenplan oh-

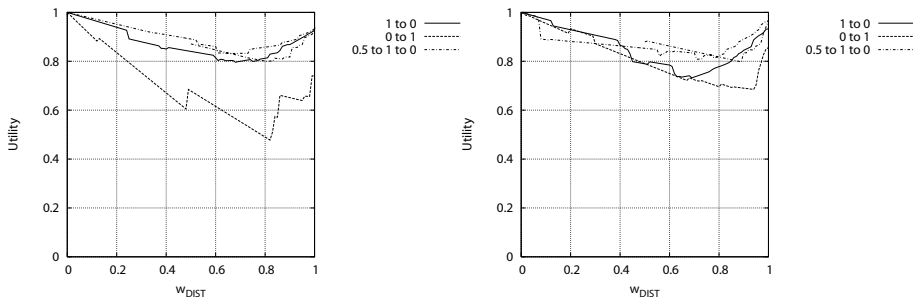


Abbildung 2: Ergebnisse der Testinstanzen 1 und 2.

ne Verspätungen identifiziert ($UTILITY = 1$). Letzteres gilt gleich zu Beginn auch für den zweiten Entscheidungsträger. Nach Erhöhung des Gewichts liefert das System für $w_{DIST} = 0,48$ immer noch eine Lösung ohne Verspätungen, jedoch mit vergleichsweise schlechter Gesamtstreckenlänge von $DIST = 2225$, sodass der Wert für den Gesamtnutzen nun deutlich unter dem des ersten Entscheidungsträgers verläuft. Dies ändert sich im weiteren Verlauf nur unwesentlich. Offensichtlich verhindert das anfängliche Clustering bei ausschließlicher Beachtung des Kriteriums T_{max} eine spätere Verbesserung des anderen Kriteriums deutlich mehr, als dies bei umgekehrtem Vorgehen der Fall ist. Im Falle einer anfänglichen Kompromisslösung können die Ergebnisse des ersten Anwenders sogar noch leicht übertroffen werden. Insbesondere ist hierbei interessant, dass selbst für die beiden Extremalwert des Gewichtungsparemeters $w_{DIST} = 1$ bzw. $w_{DIST} = 0$ im Vergleich zu den anderen beiden Anwenderverhalten bessere oder zumindest gleich gute Lösungen gefunden werden können.

Literatur

- [CLM01] J.-F. Cordeau, G. Laporte und A. Mercier. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 52:928–936, 2001.
- [LU99] T.-R. Lee und J.-H. Ueng. A study of vehicle routing problems with load-balancing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 29(10):646–658, 1999.
- [PM06] J. Pacheco und R. Marti. Tabu search for a multi-objective routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 57:29–37, 2006.
- [SD88] M. Solomon und J. Desrosiers. Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems. *Transportation Science*, 22(1):1–13, 1988.
- [TBG⁺97] E. Taillard, P. Badeau, M. Gendreau, F. Guertin und J.-Y. Potvin. A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. *Transportation Science*, 31(2):170–186, 1997.