

Abstract

This thesis investigates what is known in the transportation literature as *stochastic vehicle routing problems* (SVRPs). SVRPs arise in logistics applications whenever vehicle routes need to be planned, but the full setting where the routing is to take place is not known with certainty. In other words, parameters pertaining to the problem definition are stochastic.

The first problem studied is a new SVRP variant, in which the availability of customers for receiving the deliveries is stochastic. This variant, named simply *delivery problem*, is motivated by attended home delivery, in particular, the delivery of e-commerce orders to private customers.

Next, the focus becomes the classical *vehicle routing problem with stochastic demands* (VRPSD). The problem is regarded under the a priori optimization paradigm, and restocking decisions are assumed to be optimal. The first contribution is a mixed-integer linear model for the single-vehicle version of the problem. This model allows solving small problem instances to optimality. In addition, a heuristic method that is able to find good quality solutions in larger instances is also proposed.

The VRPSD with multiple vehicles is then extensively studied. First, a state-of-the-art branch-price-and-cut algorithm for solving the VRPSD is introduced. This is the first method that is able to solve problem instances with few customers per vehicle. These are the instances where solving the stochastic problem is most relevant, as demonstrated in the computational experiments. Following that, the VRPSD is considered under a different set of constraints. The usual capacity-based constraints are replaced by probabilistic duration constraints. This alternate constraint set may be more realistic in applications where routes must finish within some prescribed time limit (e.g., due to working hours regulations). Under this new set of constraints, the VRPSD becomes considerably more difficult. The problem is solved exactly for the first time by a novel branch-and-price algorithm, which combines different strategies for evaluating the feasibility of routes.

The last contribution in this thesis is a Bayesian model for the VRPSD with positively correlated demands, along with an optimal restocking policy for this case. This is an important step towards addressing one of the current challenges in stochastic routing: developing models and algorithms that are able to handle statistical dependence among the uncertain parameters.

Zusammenfassung

Diese Doktorarbeit untersucht, was in der Transportliteratur als *stochastische vehicle routing problems* (SVRPs) bekannt ist. SVRPs entstehen in Logistikapplikationen immer dann, wenn Fahrzeugrouten geplant werden müssen, aber die vollständige Einstellung, in der das Routing erfolgen soll, ist nicht mit Sicherheit bekannt. Mit anderen Worten sind Parameter, die sich auf die Problemdefinition beziehen, stochastisch.

Das erste untersuchte Problem ist eine neue SVRP-Variante, bei der die Verfügbarkeit der Kunden für den Erhalt der Lieferungen stochastisch ist. Diese Variante, die einfach als *delivery problem* bezeichnet wird, ist motiviert durch die Hauszustellung, insbesondere die Lieferung von E-Commerce-Bestellungen an Privatkunden.

Als nächstes wird der Fokus auf das klassische *vehicle routing problem with stochastic demands* (VRPSD) gelegt. Das Problem wird unter dem a priori Optimierungsparadigma betrachtet, und es wird davon ausgegangen, dass die Auffüllungsentscheidungen optimal sind. Der erste Beitrag ist ein gemischt-ganzzahliges lineares Modell für die Einzelfahrzeugversion des Problems. Dieses Modell ermöglicht die optimale Lösung kleiner Instanzen. Außerdem wird eine Heuristikmethode vorgeschlagen, die in größeren Instanzen qualitativ hochwertige Lösungen finden kann.

Die VRPSD mit mehreren Fahrzeugen wird dann ausführlich untersucht. Zunächst wird ein hochmoderner Branch-Price-and-Cut-Algorithmus zur Lösung der VRPSD vorgestellt. Dies ist die erste Methode, die Instanzen mit wenigen Kunden pro Fahrzeug lösen kann. Dies sind die Fälle, in denen die Lösung des stochastischen Problems am relevantesten ist, wie in den Rechenexperimenten gezeigt wurde. Danach wird die VRPSD unter anderen Bedingungen betrachtet. Die üblichen kapazitätsbasierten Bedingungen werden durch probabilistischen Nebenbedingungen ersetzt. Dieser alternative Bedingungssatz kann in Anwendungen realistischer sein, bei denen Routen innerhalb einer vorgegebenen Zeitgrenze enden müssen (z. B. aufgrund von Arbeitszeitvorschriften). Unter diesen neuen Bedingungen wird die VRPSD erheblich schwieriger. Das Problem wird zum ersten Mal exakt durch einen neuartigen Branch-and-Price-Algorithmus gelöst, der verschiedene Strategien zur Bewertung der Realisierbarkeit von Routen kombiniert.

Der letzte Beitrag dieser Dissertation ist ein Bayes-Modell für die VRPSD mit positiv korrelierten Nachfragen sowie einer optimalen Auffüllpolitik für diesen Fall. Dies ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer der aktuellen Herausforderungen im stochastischen Routenplanung: Entwicklung von Modellen und Algorithmen, die statistische Abhängigkeiten zwischen den unsicheren Parametern bewältigen können.