Optimierung realer LKW-Transporte

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Dorer
Fakultät Elektrotechnik
und Informationstechnik (E+I)

Badstraße 24
77652 Offenburg
Tel.: 0781 205-385
E-Mail: klaus.dorer@hs-offenburg.de

1971: Geboren in Furtwangen
1992–1996: Allgemeine Informatik / Künstliche Intelligenz, Fachhochschule Furtwangen
7. Semester De Montfort University Leicester/England
1996–2000: Promotionsstudium Informatik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
2000–2003: Senior Software Engineer, living systems AG, Donaueschingen
2003–2007: Senior Researcher, Whitestein Technologies GmbH, Donaueschingen
seit 2007: Professur für Software Engineering, Algorithmen und Datenstrukturen sowie Grundlagen der Informatik an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg
Lehrgebiete: Software Engineering, Algorithmen und Datenstrukturen, Objektorientierte Programmierung, Künstliche Intelligenz
Forschungsgebiete: Autonome Systeme, Transportoptimierung, Künstliche Intelligenz

4.2 Optimierung realer LKW-Transporte

Prof. Dr. rer. nat. Klaus Dorer

Abstract
In this article we show that agent-based optimization can be used by major logistics companies to significantly (27%) reduce the costs for transporting orders. Also we show that collaboration between companies can yield another 3% cost reduction without sharing company critical data.

Einleitung
Große Logistikunternehmen stehen in den letzten Jahren zunehmend vor neuen Herausforderungen. Zum einen steigt die Menge zu transportierender Güter jährlich, zum anderen entstanden durch Verschmelzungen großer Logistikunternehmen, wie z. B. Deutsche Post, Danzas und Exel oder UPS und Fritz, riesige Fahrzeugflotten, deren effiziente Planung die Unternehmen vor enorme Probleme stellt. Die einzige Möglichkeit, diese meist heterogenen, also aus vielen verschiedenen Verkehrsmitteln bestehenden Flotten mit herkömmlichen Mitteln effizient zu planen, ist die Aufteilung in (regionale) Geschäftsbereiche. Dadurch können viele Synergieeffekte nicht genutzt werden, was unter anderem zu unnötig hohen Transportkilometerleistungen und Leerfahrten führt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts Attractive (Programm IngenieurNachwuchs) wurden neue Algorithmen entwickelt, mit deren Hilfe die Optimierung von Transportaufträgen unter realen Bedingungen und in realistischen Größenordnungen möglich wird. In diesem Artikel wird kurz auf die Optimierung eingegangen, und dann werden die ersten gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst.

Optimierung
Für die Optimierung werden in Attractive agentenbasierte Strategien eingesetzt. Agenten vertreten die Interessen eines LKW, einer Gruppe von LKWs, einer ganzen Region oder gar eines ganzen Unternehmens. Sie sorgen in ihrem Zuständigkeitsbereich für eine möglichst gute Lösung. Dazu bieten sie auf neue Aufträge und erhalten den Zuschlag, wenn sie das beste Angebot abgegeben haben. Sie können weiterhin untereinander Tauschgeschäfte vorschlagen, um dadurch eine bessere Gesamtlösung zu erzielen.

Vorbedingung für beides ist, dass die Agenten die Kosten von Routen berechnen können und die Randbedingungen von Transporten prüfen können. Als Kostenmodelle stehen einfache Kostenmodelle mit fixen und variablen Kosten zur Verfügung sowie sogenannte Matrix-Kostenmodelle, die im Bereich des Spot-Markts Verwendung finden. Als Randbedingungen werden sowohl Beladungbedingungen (maximale Beladung, Volumen und Gewicht) als auch Zeitbedingungen (früheste und späteste Abholung/Lieferung, gesetzliche Lenkzeitbestimmungen, Lade- und Abladezeiten) geprüft.

Innerbetrieblich
Bei der innerbetrieblichen Optimierung agieren die Agenten nicht mit dem Ziel der eigenen Kostenminimierung, sondern in einem gesamtunternehmerischen Ziel. Daher akzeptieren sie z. B. auch Tauschvorschläge, die zu einer Verschlechterung ihres Zuständigkeitsbereichs führen, wenn der Tausch insgesamt eine Verbesserung für das Unternehmen bedeutet. Bei der Kommunikation der Agenten untereinander gibt es außerdem keine vertraulichen Daten zu schützen. Die Agenten spielen mit offenen Karten und können so z. B. einem Tauschpartner mitteilen, wie hoch die Ersparnis auf eigener Seite wäre.

Überbetrieblich
Diese Art der Optimierung funktioniert prinzipiell auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Die Agenten verschiedener Unternehmen können sich untereinander Tauschvorschläge unterbreiten. Allerdings spielt bei überbetrieblicher Optimierung eine wichtige Rolle, dass die meisten Daten der Unternehmen gegenüber anderen Unternehmen als vertraulich eingestuft werden. Dies gilt insbesondere für Gewinne oder gar Kostenstrukturen.

Hier konnte ein Algorithmus erstellt werden, bei dem keinerlei Kosteninformationen ausgetauscht werden muss. Lediglich Auftragsdaten müssen dem Konkurrenzunternehmen sichtbar gemacht werden. Die Menge an weitergegebenen Auftragsdaten kann dabei festgelegt werden, hat aber natürlich auch Einfluss auf das Optimierungsergebnis. Ob ein Tausch zwischen zwei Agenten unterschiedlicher Unternehmen akzeptiert wird, kann davon abhängig gemacht

werden, ob beide Unternehmen kollaborieren oder konkurrieren. Im letzteren Fall werden nur Tauschvorgänge akzeptiert, die für beide Unternehmen eine Verbesserung bedeuten, während im ersten Fall auch Tauschvorgänge akzeptiert werden können, bei denen sich das Gesamtergebnis verbessert gegebenenfalls auf Kosten eines der beteiligten Unternehmen.

Ergebnisse

Für die Optimierung standen reale Daten eines Logistikunternehmens zur Verfügung. Insgesamt waren 1736 LKW an 248 Standpunkten verfügbar für den Transport von 2137 Aufträgen in sechs europäischen Ländern. Außerdem konnten beliebig viele neue Spot-Markt LKW eingesetzt werden.

Innerbetrieblich

Im Bereich innerbetrieblicher Optimierung für heterogene LKWs ist besonders hervorzuheben, dass überhaupt Probleme dieser Größenordnung von über 2000 Aufträgen in akzeptabler Zeit optimiert werden konnten. Und das unter Berücksichtigung aller für einen realen Transport notwendigen Randbedingungen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Kosten könnten nach unseren Berechnungen um bis zu 27 % gesenkt werden. Hauptsächlich wird das durch eine höhere Auslastung der LKWs erreicht, die sowohl bei eigenen LKWs als auch im Spot-Markt Geschäft, das bei diesen Daten überwiegt, zu Kosteneinsparungen führt. Die Einsparung der Transportkilometer ist dagegen nur bedingt als tatsächliche Reduktion des LKW-Verkehrs zu verstehen. Da viele der LKWs auf dem Spot-Markt eingekauft wurden, sind nicht alle Aufträge bekannt, die mit diesen LKWs gefahren wurden. Dementsprechend bedeutet eine höhere Auslastung lediglich, dass die LKWs mit mehr Aufträgen unseres Logistikanbieters gefahren sind. Die Kostenberechnung berücksichtigt dies und ist daher unabhängig von der Kenntnis externer Aufträge. Allerdings ist so z. B. eine Berechnung der CO2 Einsparung nicht aussagekräftig.

Abb. 4.2-1: *Forschungsgruppe Dorer (ATRACTIVE)*

Neben den Kosten konnte auch der Quality of Service verbessert werden. Die Zahl der Constraint-Verletzungen (meist Zeitverletzungen) lag bereits recht niedrig, konnte aber nochmals halbiert werden.

Grund für die wenig optimale manuelle Disposition dürfte die mangelnde Visibilität der Aufträge sein, die über Geschäftsbereiche hinweg und bei der Größenordnung an Aufträgen nur mangelhaft funktionieren kann.

Anhand von Beispielen konnte gezeigt werden, wie die Einsparungen erzielt wurden. Fünf Aufträge in einem Beispiel wurden vom Attractive-System auf einen

	Manuell	Attractive Initial	Verbesserung	Attractive optimiert	Verbesserung
Kosten	1.300.233	968.658	25,5%	950.916	26,9%
LKW Auslastung (in %)	45,1	76,2	31,1%	76,1	31,0%
Transportkilometer	1.246.771	885.063	29,0%	873.027	30,0%
Davon Leerkilometer	26.338	9.435	64,2%	8.579	67,4%
Constraint Verletzungen	47	23	51,1%	19	60,0%
Aufträge transportiert	2.137	2.137		2.137	
Verwendete LKW	1.736	699	59,7%	697	59,9%
Laufzeit (Minuten)	–	18		180	

Tabelle 1: *Ergebnisse der innerbetrieblichen Optimierung heterogener LKWs*

LKW geplant, manuell wurden dieselben Aufträge mit vier LKWs transportiert. Das bedeutet nicht, dass alle vier LKW in der manuellen Lösung viertel voll von Luxemburg nach Italien fuhren. Vermutlich waren Aufträge anderer Logistikunternehmen mit an Bord. Für unser Logistikunternehmen bedeutet es jedoch eine deutliche Einsparung, wenn es die Aufträge zusammen auf einem LKW fahren kann.

Überbetrieblich

Neuland wurde auch mit der Optimierung über Unternehmensgrenzen hinweg betreten. Es konnte gezeigt werden, dass durch den Tausch von Aufträgen zwischen Unternehmen Einsparungen für beide Unternehmen erzielt werden können. Die Höhe der Einsparungen hängt nach Erwartung davon ab, ob die Unternehmen ähnliche Geschäftsfelder bedienen (homogen) oder unterschiedliche (heterogen), Tabelle 2. Ebenso konnte gezeigt werden, dass eine Optimierung über Unternehmensgrenzen hinweg sowohl für kollaborierende Unternehmen als auch für Unternehmen in Konkurrenz (kompetitiv) zu Einsparungen führt, Tabelle 3. In letzterem Fall ist die Vertraulichkeit der Daten besonders wichtig. Tabelle 4 zeigt den Einfluss der Anzahl veröffentlichter Aufträge auf das Optimierungsergebnis.

Setup	Kosteneinsparung	Tauschvorgänge
Homogen	0.3%	23
Heterogen	2.2%	65

Tabelle 2: *Kosteneinsparung bei homogenen Partnern und Partnern mit heterogenen Flotten*

Setup	Kompetitiv	Kollaborativ
Inter-Company	1.6%	3.8%
Logistikunternehmen 1	1.6%	6.2%
Logistikunternehmen 2	1.5%	1.2%

Tabelle 3: *Vergleich der Ergebnisse in Konkurrenzsituation und vertraulicher Zusammenarbeit*

Sichtbare Aufträge	Kosteneinsparung	Tauschvorgänge
20%	0.00%	0
40%	0.48%	20
60%	0.74%	30
80%	1.20%	39
100%	2.17%	65

Tabelle 4: *Einfluss der Geheimhaltung von Aufträgen auf die Kosteneinsparung*

Fazit

Selbst wenn sich nicht 100 % der in der Simulation gezeigten Einsparungen in der Realität umsetzen lassen, sind die Ergebnisse für Logistikunternehmen höchst interessant. Zusammen mit dem Projektpartner Whitestein Technologies wird derzeit versucht, die gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis einzusetzen.

Referenzen/References

[1] Devanatthan S., Glaser S., Dorer K.: Optimising Efficiency in Part-Load Transportation. To appear in Proceedings of the IJCAI 2011 Workshop on Artificial Intelligence and Logistics (AILog-2011), Barcelona, Spain, July 16, 2011

[2] Dorer K., Schindler I., Greenwood D.: Agent-based Inter-Company Transport Optimization (Extended Abstract). Tumer, Yolum, Sonenberg, Stone (eds.) Proc. of 10th Intl. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems – Innovative Applications Track (AAMAS 2011), Taipei, Taiwan, May 2 – 6, 2011