

Modellierung selbststeuernder Servicenetze aus Netzplanungsdaten*

Sebastian Vastag

Universität Dortmund
Lehrstuhl Informatik IV
sebastian.vastag@udo.edu

Abstract: Es wird die Erweiterung von logistischen Servicenetzen um ein selbststeuerndes Verfahren zur Kapazitäts- und Robustheitssteigerung beschrieben. Dazu werden die zugehörigen Netzplanungsdaten in simulationsfähige Modelle überführt und um dynamisches Sendungsrouting ergänzt.

1 Dynamisches Sendungsrouting

Ein neuer Ansatz zur taktischen und operativen Planung von Logistiknetzen ist die Nutzung dynamisch entscheidender Elemente, welche ohne zentrale Steuerung zeitnah auf Veränderungen im Transportnetz reagieren (vgl. [FHSR04, tH05]). Dieses immer wichtiger werdende Paradigma der Selbststeuerung in der Logistik eröffnet neue Möglichkeiten und Freiheitsgrade der Planung, zu deren Erkundung sich eine simulative Umsetzung anbietet.

Zur Untersuchung von Servicenetzen von KEP-Dienstleistern¹ wurde ein System geschaffen, welches komplette Netztopologien im Modell nachbildet und Aussagen über das Verhalten mit und ohne Selbststeuerung liefern kann.

Das vorrangige Ziel der Modellierung war eine Steigerung der Gesamtkapazität der Transportnetze gegenüber den erzielten Ergebnissen der Netzplanung durch Selbststeuerung. Ebenso sollte die Robustheit gegenüber Aufkommensspitzen verbessert werden. Als Maßzahl wurde die in Standorten zwischengelagerte Menge an Sendungen gewählt, die nicht planmäßig im Netz weitertransportiert werden kann. Große Lagerbestände weisen hier auf Engpässe in der Kapazitätsplanung hin.

Während der strategischen Planung eines Transportnetzes werden die Fahrzeugkapazität und das Sendungsrouting auf Relationen einmalig festgelegt. Dieser unflexible Ansatz führt dazu, dass bei Aufkommensspitzen Sendungen unter Zeitverlust zwischengelagert oder teure Zusatzfahrten durchzuführen sind. Störungen und Staus erfordern ein Eingreifen des Disponenten.

*Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 559 "Modellierung großer Netze in der Logistik" unterstützt.

¹Kurier, Express und Paketdienste

Als Planungsalternative auf operativer Ebene wird im Modell Selbststeuerung durch dynamisches Sendungsrouting untersucht. Die Grundidee ist, das feste, während der strategischen Netzplanung festgelegte Sendungsrouting auf Relationen um die Ideen der dezentralen und fehlertoleranten Routingprinzipien des Internets zu erweitern. Im Datennetz werden Pakete durch Router auf schnelle und sichere Pfade weitergeleitet, bei Verbindungsfehlern wird eigenständig eine Ausweichverbindung gewählt [Tan03]. Analog zu den Routern entscheiden im Modell die Standorte über die weitere Versandstrecke jeder einzelnen Sendung. Sie verwenden dazu bekannte Routingalgorithmen aus Datennetzen, welche auf die Besonderheiten von Transportnetzen angepasst sind. Ihre Kostenfunktionen müssen neben der Distanz auch weitere Kantenkosten wie Fahrplan, Verzögerungen und Kapazitätsgrenzen der eingesetzten Verkehrsmittel berücksichtigen (siehe [Vas06]). Existieren auf der eigentlich vorgesehenen direkten Relation zusätzliche Kosten wie z.B. ein Stau oder mangelnde Fahrzeugkapazität, so wird nach einer streckenmäßig längeren, zeitlich aber immer noch kürzeren Ausweichroute gesucht. Exemplarisch wurden das Distanzvektor- und das Linkstate-Protokoll mit in das Modell aufgenommen [Tan03].

Die Routingentscheidung der Standorte ist zweistufig aufgebaut: Im Normalfall wird das aus den Eingabedaten bekannte statische Routing genutzt. Die erweiterte, dynamische Routenführung findet erst dann Anwendung, wenn im für eine Sendung vorgesehenen Fahrzeug kein Stauraum mehr vorhanden ist oder andere bekannte Störungen auf der Fahrstrecke existieren. Als Alternative kommen alle Routen in Frage, die nicht noch größere Zeitverluste bringen als das Warten auf die nächste reguläre Verbindung. Aus dieser Menge wählt der Standort selbständig die schnellste Route aus und schickt die Sendung zur nächsten Zwischenstation der Route.

2 Modellumsetzung und Ausblick

Für die Versuchsreihen standen die Ergebnisse von strategischen Netzplanungen zur Verfügung. Die Daten umfassten die geographische Position der Standorte sowie die dazwischen bestehenden Transportrelationen, die durch Fahrplan, Distanz und die Kapazität der auf ihnen verkehrenden Fahrzeuge beschrieben werden. Zu jedem Netzwerk existierten Angaben über das durchschnittliche Aufkommen an Sendungen und dessen Verteilung an den Standorten. Die eigens entworfene Software ATNSim (*Autonomous Transportation Network Simulator*) interpretiert diese Eingabedaten als simulationsfähige Modelle diskreter Zustandsautomaten [Vas06].

Die für die Experimente verwendeten Netze bestehen aus ca. 70 Depots als lokale Konsolidierungslager für die Kunden und bis zu 10 Hubs als dedizierte Verteilzentren. Zur Beherrschung der Komplexität sind die Modelle hierarchisch unterteilt, wobei die Gesamtnetze die oberste, innerbetriebliche Sortiervorgänge die unterste Ebene bilden. Der Simulator verwaltet vordefinierte Prototypen für die logistischen Standorte, welche beim Umsetzen der Eingabedaten in das Modell instanziiert werden können. Durch das nachträgliche Setzen von Parametern ist der Algorithmus des Sendungsroutings wählbar und die Knoten erhalten ihre speziellen lokalen Eigenschaften.

In Experimenten mit den um Selbststeuerung erweiterten Modellen zeigte sich, dass durch

dynamisches Sendungsrouting in großen Netzen eine Steigerung der Hauptlaufskapazität von bis zu 20% gegenüber statischer Planung möglich ist. Das zusätzliche Sendungsvolumen wird auf freie Ladungskapazitäten verteilt, in dessen Folge sich eine bis zu 30% bessere Auslastung der eingesetzten Fahrzeuge ergibt. Die zuvor bei Überlast auftretenden Engpässe werden durch die dynamische Routenführung ausgeglichen. Mit dem Aufkommen steigt auch die mittlere Durchlaufzeit einer Sendung, liegt aber im Mittel um bis zu 10% im Vergleich zum klassischen Routing, da weniger Wartezeiten durch mangelnde Fahrzeugkapazitäten entstehen [tH07, Vas06]. Der schnellere Sendungsfluss im Netz führt dazu, dass die Lagerbelegung der Standorte um ca. ein Drittel sinkt.

Der Lastenausgleich der dynamischen Routenführung eröffnet dem Planer die Möglichkeit, Logistiknetze mit geringeren Reserven an Transportmitteln und Lagerfläche zu konzipieren. Steigerungen des Aufkommens sowie kurzzeitige Aufkommensspitzen können mit vorhanden Kapazitäten transportiert werden, was zu Lasten einer garantierten maximalen Durchlaufzeit geht. Sie kann, wie im Experiment, als Ergänzung zu bestehenden Transportnetzen dienen oder bewusst dort eingeplant werden, wo Kosteneffizienz durch geringe Vorhaltung von Ressourcen im Vordergrund steht. Das automatische Umleiten der Sendungen um Störungen hilft nicht nur bei Stauereignissen, sondern erlaubt auch Netzwerke in Regionen zu etablieren, in denen Strecken oft unpassierbar sind.

Weitergehende Arbeiten befassen sich mit einer Formalisierung der Aspekte der logistischen Selbststeuerung durch Prozesskettenmodelle des ProC/B-Paradigmas [BFKV02]. Modellanalyse und syntaktische Validierung wären möglich, was bei der hohen Modellkomplexität selbststeuernder Netze Vorteile bringt. Für ProC/B stehen verschiedene Analyseverfahren zur Verfügung, neben ereignisdiskreter Simulation auch nichtsimulative Verfahren wie Petri- oder Warteschlangennetze. Eine Herausforderung stellt die effiziente Umsetzung von dynamisch gesteuerten Transportnetzelementen in diese Modellwelten dar.

Literatur

- [BFKV02] Falko Bause, M. Fischer, P. Kemper und M. Völker. The ProC/B Toolset for Modelling and Analysis of Process Chains. In T. Field, P.G. Harrison, J. Bradley und U. Harder, Hrsg., *TOOLS 2002*, number 2324, Seiten 51–70. Springer Verlag, 2002.
- [FHSR04] Michael Freitag, Otthein Herzog und Bernd Scholz-Reiter. Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. *Logistics Journal*, 20:23–27, 2004.
- [Tan03] Andrew S. Tanenbaum. *Computernetzwerke*. Pearson Studium, München, 2003.
- [tH05] Michael ten Hompel. Die Dinge im Internet. *Lagerlogistik*, 3:16–17, 2005.
- [tH07] Michael ten Hompel. *Internet der Dinge. Selbststeuernde Objekte und selbstorganisierende Systeme*. Springer Verlag, Berlin, erste. Auflage, April 2007.
- [Vas06] Sebastian Vastag. Simulation selbststeuernder Transportnetze. Diplomarbeit, Universität Dortmund, Fachbereich Informatik, August 2006.