

Kooperierende Routingprotokolle zur Selbststeuerung von Transportprozessen

Bernd Scholz-Reiter, Henning Rekersbrink und Michael Freitag, Universität Bremen



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktions technischer Systeme an der Universität Bremen und ist Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.



Dipl.-Ing. Henning Rekersbrink arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktions technischer Systeme.



Dr.-Ing. Michael Freitag arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktions technischer Systeme und ist Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“ an der Universität Bremen.

verhindern strukturelle Unterschiede zwischen Daten- und Transportnetzen eine direkte Übertragung der Protokolle, sodass in Transportnetzen mehrere verschiedene, speziell angepasste Protokolle mit unterschiedlichen Zielvorgaben kooperieren müssen. Im Folgenden wird ein innerhalb des Bremer Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“ erarbeitetes Routingkonzept für selbststeuernde Transportnetze, das so genannte Distributed Logistics Routing Protocol, vorgestellt.

Die wachsende Dynamik und Komplexität logistischer Systeme lässt zentrale Planungs- und Steuerungsverfahren an ihre Grenzen stoßen. Eine Möglichkeit, dem entgegenzutreten, stellt

das Konzept der Selbststeuerung dar. Die Idee der Selbststeuerung basiert auf einer Verlagerung der zentralen Planung und Steuerung hin zu einer Vielzahl dezentraler Lösungsfindungsprozesse einzelner logistischer Objekte. Durch diese heterarchische Struktur können Komplexität und Dynamik der einzelnen Entscheidungsprozesse reduziert und damit handhabbar gemacht werden [1-3].

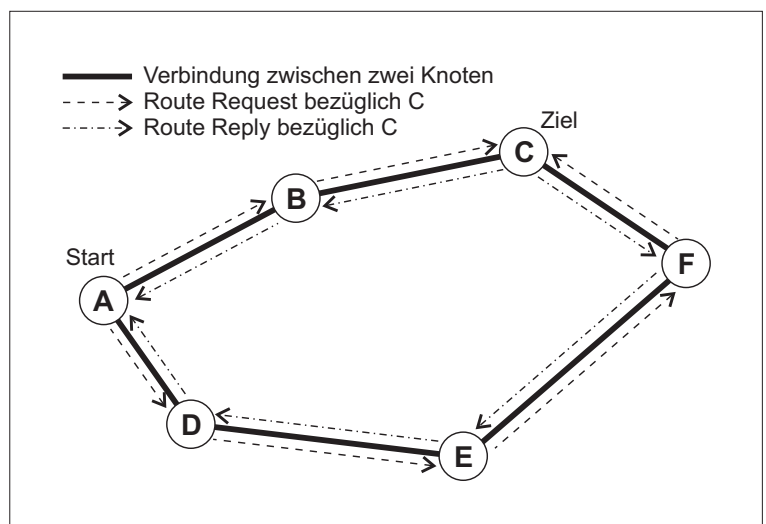
Um dieses Konzept der Selbststeuerung auf Transportnetze anzuwenden, bietet es sich an, nach Analogien in anderen Bereichen zu suchen. In großen Kommunikationsnetzen, wie z.B. dem Internet oder bei der mobilen Kommunikation, müssen die Wege der einzelnen Datenpakete dynamisch festgelegt und optimiert werden. Diese Aufgabe wird hier nicht durch eine

Zur Verwirklichung einer Selbststeuerung von Transportprozessen wird versucht, bekannte und bewährte Routingalgorithmen aus der Datenkommunikation auf Transportprobleme zu übertragen. Hierbei

Kontakt:

Universität Bremen
Fachgebiet „Planung und Steuerung
produktionstechnischer Systeme“
Postfach 33 05 60
28335 Bremen
Tel.: 0421 / 218-5557
Fax: 0421 / 218-5640
E-Mail: rek@biba.uni-bremen.de

Bild 1: Prinzipielle Funktionsweise des Dynamic Source Routing (DSR).



zentrale Steuerung, sondern dezentral durch sog. Routingalgorithmen erfolgreich gelöst. Durch die Größe und Dynamik dieser Netze ist eine zentrale Planung der Kommunikationswege praktisch unmöglich – demgegenüber ist die ausgesprochene Robustheit der verwendeten dezentralen Verfahrensweisen schon oft unter Beweis gestellt worden. Auf dem Feld der Datenkommunikation sind viele, bereits weit entwickelte Routingalgorithmen vorhanden, deren Übertragbarkeit auf Transportprobleme im Teilprojekt B1 „Reaktive Planung und Steuerung“ des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“ untersucht wird.

Routingprotokolle aus der Datenkommunikation

Für den Transfer von Routingalgorithmen aus Kommunikationsnetzen in logistische Netze muss zunächst identifiziert werden, wo Ähnlichkeiten und wo Unterschiede zwischen diesen Netzen bestehen. Offensichtliche Ähnlichkeiten in beiden Netzen sind der Transport von einer Quelle zu einer Senke und die Auswahl mehrerer möglicher Routen für diesen Transport, sodass eine geeignete Routenwahl getroffen werden muss. Die Kriterien, die diese Wahl bestimmen, können jedoch sehr unterschiedlich sein. Auch die Größe und Dynamik der beiden Netztypen sind sich ähnlich. Wie oben bereits beschrieben, zielt die Selbststeuerung auf die Handhabbarkeit großer logistischer Netze ab, welche in Kommunikationsnetzen durch ihre dezentrale Steuerung erreicht wird.

Es gibt jedoch auch signifikante Unterschiede zwischen Kommunikationsnetzen und logistischen Netzen. Zum Transport von Paketen in einem logistischen Netz sind zusätzlich bewegliche Fahrzeuge notwendig, welche die Pakete transportieren können. Beide Objekte benötigen eine Route, welche jedoch unterschiedlich sein können und in der Routenauswahl verschiedene Zielvorgaben haben. Daher ist eine direkte Übertragung der Routingpro-

tokolle aus der Datenkommunikation, welche nur einen Objekttyp (Datenpaket) kennen, nicht möglich.

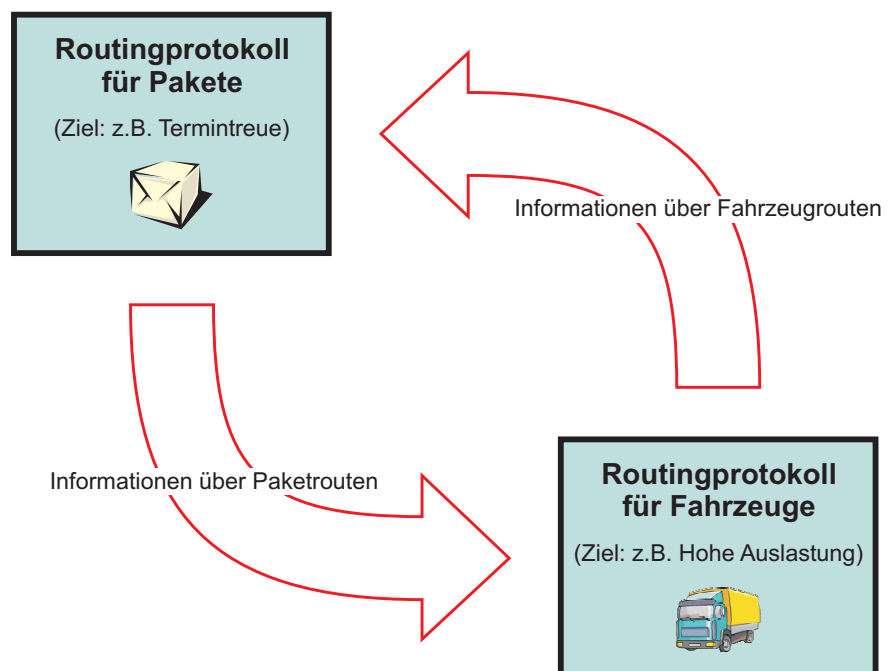
Ein zweiter, sehr signifikanter Unterschied sind die unterschiedlichen Zeitskalen der Netze. In Kommunikationsnetzen spielen sich Routenwahl und Datenübermittlung auf Zeitskalen im Sekunden- oder Millisekundenbereich ab. Die Zeit, die für die Routenwahl benötigt wird, ist im Allgemeinen in Relation zu der Zeit, die für die Datenübermittlung benötigt wird, nicht vernachlässigbar. In der Logistik dagegen dauert der Transport der Güter erheblich länger (Stunden, Tage). Das impliziert zum einen, dass der Zeitaufwand zur Ermittlung einer Route deutlich weniger ins Gewicht fällt und damit ein größerer Kommunikationsaufwand zur Ermittlung der aktuellsten Informationen möglich und sinnvoll ist. Zum anderen können sich Informationen bezüglich des Zustands einer Route während des Transports signifikant ändern, was in Kommunikationsnetzen in der Regel nicht erwartet wird. Die Art der Routenwahl in einem Transportnetz

muss daher an die mögliche zukünftige Veränderung des Netzes angepasst werden.

Routingprotokolle aus der Datenkommunikation können also nicht direkt übernommen werden. Sie müssen den speziellen Anforderungen von Transportnetzen angepasst und entscheidend verändert werden. Jedoch ist bei der Anpassung der Protokolle darauf zu achten, dass die Vorteile der Protokolle, wie z.B. Robustheit, Ausfallsicherheit oder auch Wartungsarmut, erhalten bleiben.

Diese Vorteile ergeben sich aus Sicht der Autoren hauptsächlich aus der Art der Informationsspeicherung und -sammlung. Dezentrale Systeme haben prinzipiell keine Möglichkeit, auf eine zentrale Informationsstelle und damit auf vollständige Informationen zuzugreifen. Die „Kunst“ der Routingalgorithmen besteht also in der Sammlung von dezentral zur Verfügung stehenden Informationen, ohne dabei einerseits einen explodierenden Kommunikationsaufwand zu erzeugen oder andererseits für eine sinnvolle Routenentscheidung zu wenige Informationen zu erhalten -

Bild 2: Abhängigkeiten der Routingprotokolle.



B. Scholz-Reiter u.a.: Kooperierende Routingprotokolle zur Selbststeuerung von Transportprozessen

die richtige Balance ist hier der Schlüssel zum Erfolg.

In diesem Projekt wurde sich aufgrund dieser Überlegungen für eine Übertragung der Informationssammelungsstruktur der Datenkommunikationsprotokolle entschieden, während für die eigentliche Routenentscheidung eigene, neue Verfahren zum Einsatz kommen. Durch die Zeit- und Ressourcenknappheit für die Routenentscheidung in Kommunikationsnetzen sind hier nur sehr einfache Entscheidungen möglich, während in Transportnetzen aufgrund der oben beschriebenen Zeitskalenunterschiede wenig Restriktionen einzuhalten sind. Daher können die Entscheidungsverfahren in Transportnetzen mehrere Entscheidungskriterien berücksichtigen und damit zu einer besseren Optimierung des Netzes gelangen.

Aus der Vielzahl von bereits vorhandenen Routingprotokollen wurde sich für den unten beschriebenen Entwurf eines logistischen Routingprotokolls am sog. Dynamic Source Routing (DSR) orientiert (für genauere Informationen über verschiedene Routingalgorithmen siehe z.B. [4]).

Dieser Algorithmus arbeitet wie folgt (Bild 1): Ein Knoten hat hier nur Informationen über sich und seine direkten Nachbarknoten. Wird eine Route zu einem Zielknoten benötigt, so wird am Startknoten nach einer

Route zum Ziel gefragt (mittels eines sog. Route Requests). Da dieser nicht der Zielknoten ist, leitet er die Anfrage an seine Nachbarknoten weiter (Bild 1: Knoten A kennt das Ziel, Knoten C, nicht und leitet daher den Route Request an seine Nachbarn weiter). Diese verfahren jetzt genauso, bis eine Route zum Ziel gefunden wurde. Der Zielknoten erkennt sich selbst als Ziel und sendet die auf dem Weg gesammelten Informationen als sog. Route Reply an den Startknoten zurück. Dieser verfügt dann über aktuelle Routen und Informationen bis zum Ziel.

Verknüpfung von Paket- und Fahrzeugrouting

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, besteht ein struktureller Unterschied zwischen Kommunikations- und Transportnetzen in der Anzahl der Objektarten, für die ein Weg gefunden werden muss. In einem Kommunikationsnetz müssen nur den Datenpaketen Routen zugeordnet werden. In einem Transportnetz dagegen benötigen sowohl die zu transportierenden Pakete als auch die sie transportierenden Fahrzeuge eine Route.

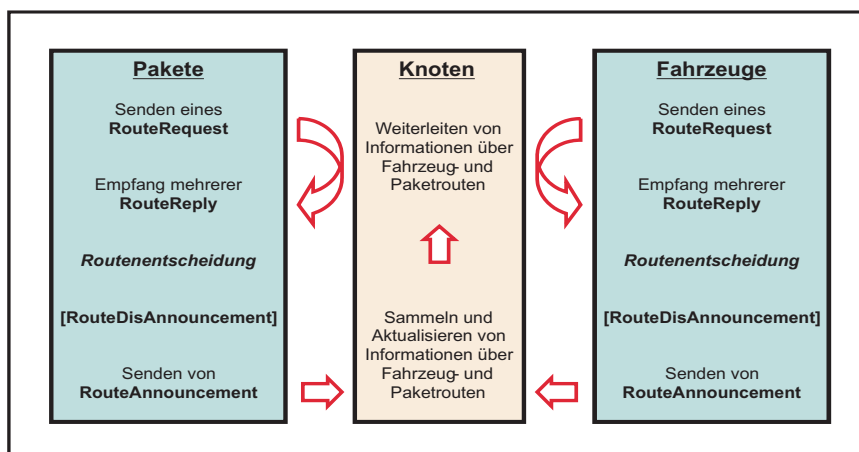
Zielvorgaben und Entscheidungskriterien der Routenwahl unterscheiden sich deutlich von einander. Während die Pakete eine Route benötigen, welche sie bis zum Liefertermin von

ihrem Standort an ihr Ziel bringt, benötigen die Fahrzeuge Routen, welche ihnen eine hohe Auslastung garantieren. Pakete haben ein fest definiertes Ziel, welches in einem bestimmten Zeitfenster erreicht werden muss. Entscheidungskriterien zur Routenwahl von Paketen sind z.B. Termintreue, Kühlung oder Beschränkungen auf große Fahrzeuge. Demgegenüber haben Fahrzeuge keine Ziele, sondern sind in ihrer Routenwahl frei. Entscheidungskriterien von Fahrzeugen sind z.B. hohe Auslastung auf der gewählten Route, Einhaltung von Ruhezeiten oder die Rückkehr zum Ausgangspunkt nach einer maximalen Fahrzeit (wodurch auch Fahrzeuge unter Umständen Ziele haben).

Zusätzlich zu den unterschiedlichen Zielen und Entscheidungskriterien hängen beide Routenentscheidungen jedoch sehr eng zusammen, denn beide Seiten benötigen zur Routenwahl Informationen über die Routen der jeweils anderen Seite (Bild 2). Ein Paket kann nur seinen eigenen Weg bestimmen, wenn es weiß, auf welchen Kanten es von einem Fahrzeug wann mitgenommen werden kann. Ein Fahrzeug wiederum kann seine Auslastung auf einem bestimmten Weg nur dadurch bestimmen, dass es Informationen über die Strecken der Pakete besitzt und daher im Voraus bestimmen kann, wann wie viele Pakete auf- bzw. abgeladen werden.

Eine Abstimmung der Routingverfahren für beide Objekttypen und damit eine Kooperation der beteiligten Objekte ist daher unerlässlich.

Bild 3: Prinzipielle Struktur des Distributed Logistics Routing Protocol (DLRP).



Distributed Logistics Routing Protocol - DLRP

Dieses Dilemma kann nur durch eine Form der Zusammenarbeit zwischen beiden Objekttypen aufgelöst werden. Vorgeschlagen wird dazu eine Kooperationsform über indirekte Kommunikation.

Im vorgeschlagenen Konzept melden beide Seiten Ihre Routenentscheidungen an den Knoten dezentral an und können so auch benötigte Infor-

mationen über die jeweils anderen Objekte am Knoten erhalten. Die Knoten des logistischen Netzes agieren in ihrer Gesamtheit als eine dezentrale Informationssammelstelle.

Anhand von Bild 3 kann man die grundsätzliche Verfahrensweise des entwickelten Protokolls erkennen. Hat z.B. ein Paket eine Routenentscheidung getroffen, so meldet es zunächst eine eventuell früher angemeldete alte Route ab (Bild 3: RouteDisAnnouncement) und meldet seine aktuell gewünschte Route an den beteiligten Knoten an (Bild 3: RouteAnnouncement). Ein einzelner Knoten verfügt damit über Informationen wann wie viele Pakete mit welchen Zielen bei ihm sein werden – weitere Zusatzinformationen wie Restriktionen bezüglich des Transports der Fracht (z.B. Kühlfracht) werden ebenfalls gespeichert. Benötigt ein Fahrzeug eine Route, so sendet es einen Route Request in das Netz – die Verarbeitung dieser Route Requests und die Antwort per Route Reply im Netz geschieht dabei wie bei dem oben dargestellten Dynamic Source Routing. Nach dem Empfang mehrerer Routenvorschläge mit entsprechenden Zusatzinformationen entscheidet sich ein Fahrzeug für eine Route und meldet diese dann ebenfalls an den beteiligten Knoten an.

Diese kooperative Verfahrensweise bietet entscheidende Vorteile: Da nicht alle Objekte in einem Transportnetz zur gleichen Zeit ihre Route planen, sondern kontinuierlich Pakete auftauchen, ihr Ziel erreichen oder Fahrzeug ihre Routen neu planen, sind zu jedem Zeitpunkt ausreichende Informationen zur Routenplanung vorhanden.

Weiterhin bedeutet die Entfernung oder das Hinzukommen von Objekten im logistischen Netz keine Neuplanung, sondern das Netz passt sich kontinuierlich an geänderte Situationen an. Es ist in dem System sogar möglich, manuell feste Routen zuzuteilen, ohne die Gesamtoptimierung des Netzes zu behindern.

Hinzu kommt, dass für die Routenentscheidung unbedingt Informationen über zukünftige Netzzustände

vorhanden sein müssen, da sich im Laufe eines Transports der Netzzustand signifikant ändern kann (im Gegensatz zu Kommunikationsnetzen, s.o.). Diese Informationen über den zukünftigen Netzzustand können durch das System von An- und Abmeldungen der Routen an den Knoten sehr gut geschätzt werden.

Ausblick

Eine Übertragung von Routingprotokollen aus der Datenkommunikation erscheint im Hinblick auf die Ähnlichkeiten von Kommunikations- und Transportnetzen sinnvoll. Die damit verbundenen Vorteile der dezentralen Steuerung durch Routingprotokolle lassen sich übertragen und stimmen mit den Zielvorstellungen einer Selbststeuerung überein. Eine Anpassung der Protokolle ist jedoch aufgrund spezifischer Anforderungen der Transportnetze notwendig und wurde im Grundsatz skizziert.

Eine grundsätzliche Übertragbarkeit von Routingprotokollen aus der Datenkommunikation wurde bereits durch erste Implementierungen von einfachen Protokollen in eine Transportnetzsimulation nachgewiesen [5]. Derzeit wird das oben skizzierte DLRP in den letzten Einzelheiten spezifiziert und in eine Simulation implementiert. Hiermit wird dann die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Protokolls nachgewiesen werden können.

Die Vision des DLRP ist ähnlich zu drahtlosen Ad Hoc Netzen. Logistische Objekte sollen mit Ihren Zielvorgaben und Spezifikationen einfach in einem Netz einzubinden sein – alles Weitere steuert das Netz selbst.

Literatur

- [1] Scholz-Reiter, B.: Chancen und Möglichkeiten der reaktiven Planung und Steuerung von intermodalen Stückgütertransporten. In: Fluhr, M.: Innovative Lösungen für den Verkehr von morgen. Berlin 1998.
- [2] Freitag, M., Herzog, O., Scholz-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: Industrie Management 20 (2004) 1, S. 23-27.

- [3] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., Rekersbrink, H., Wenning, B.-L., Gorltd, Ch., Echelmeyer, W.: Auf dem Weg zur Selbststeuerung in der Logistik – Grundlagenforschung und Praxisprojekte. In: Wäscher, G. u.a. (Hrsg.): Begleitband zur 11. Magdeburger Logistiktagung „Intelligente Logistikprozesse: Konzepte, Lösungen, Erfahrungen“. Magdeburg, 2005.
- [4] Perkins, C.E.: Ad hoc networking. Boston 2001.
- [5] Wenning, B.-L., Görg, C., Peters, K.: Ereignisdiskrete Modellierung von Selbststeuerung in Transportnetzen. In: Industrie Management 21 (2005) 5. S. 53-56.

Schlüsselwörter:

Logistik, Transport, Selbststeuerung, Routing

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an der Universität Bremen.

Cooperating Routing Protocols for Autonomous Controlled Transport Processes

For the implementation of autonomous control of transport processes it is tried to transfer well known and approved routing protocols from data communication to transport problems. Here structural differences between data and transportation networks prevent a direct transfer of the protocols, so that several different, particularly adapted protocols with different targets must cooperate in transportation networks. In the following a concept for autonomous controlled transport networks, called "Distributed Logistics Routing Protocol", is introduced, developed at the CRC 637 "Autonomous Control of Logistic Processes" in Bremen.

Keywords: logistics, transport, autonomous control, routing