

Ereignisdiskrete Modellierung von Selbststeuerung in Transportnetzen

Anwendung von Ansätzen aus der Kommunikationstechnik auf logistische Systeme

Autoren

Dipl.-Ing. Bernd-Ludwig Wenning: Studium der Elektrotechnik und Informationstechnik an der Universität Bremen. Seit April 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Arbeitsbereichs Kommunikationsnetze an der Universität Bremen. Seit der Einrichtung des Sonderforschungsbereichs 637 an der Universität Bremen im Januar 2004 Mitarbeiter im Teilprojekt B1: Reaktive Planung und Steuerung.

Dr. Karsten Peters: Studium der Physik an der Universität Göttingen. Promovierte mit einer Arbeit über Dynamische Systeme und die Modellierung von Produktionssystemen. Anschliessend Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 an der Universität Bremen im Fachbereich Produktionsingenieurwesen. Gegenwärtig arbeitet er am Lehrstuhl für Verkehrsökonomie und -modellierung an der TU Dresden an makroskopischen Modellen für die Dynamik komplexer Netzwerke.

Prof. Dr. Carmelita Görg: Studium der Informatik an der TU Karlsruhe. Promotion an der RWTH Aachen auf dem Gebiet der Verkehrstheorie (1983). Selbständige Tätigkeit und Gründung der CBG GmbH. Gruppenleiterin am Lehrstuhl Kommunikationsnetze RWTH Aachen, Habilitation an der RWTH Aachen für das Fach Kommunikationsnetze (1997). Seit Nov. 1999 Professur für Kommunikationsnetze an der Universität Bremen. Forschungsschwerpunkte: Leistungsbewertung von Kommunikationsnetzen, stochastische Simulation, personalisierte Telekommunikationsdienste, Mobilitätsunterstützung in drahtlosen Netzen.

Kontakt:
Universität Bremen
Arbeitsgruppe Kommunikationsnetze
Postfach 33 04 40
28334 Bremen
Tel.: 0421 / 218-2287
Fax: 0421 / 218-3601
E-Mail: wenn@comnets.uni-bremen.de
URL: <http://www.comnets.uni-bremen.de>

Abstract

In heutigen logistischen Systemen geht der Trend zu immer mehr immer kleineren Einzelpositionen (Atomisierung der Ladung). Dies erhöht die Komplexität der Planung und Steuerung. Daher besteht ein Bedarf an neuen Konzepten, um auch in Zukunft eine effiziente Logistik betreiben zu können. Ein solches neues Konzept ist die Selbststeuerung, bei der eine Verlagerung der Intelligenz und Entscheidungs-Autonomie von einer zentralen Planungs- und Steuerungsinstanz soweit möglich auf die einzelnen Transportgüter und Transportmittel stattfindet.

Für dieses Konzept der selbststeuernden Logistikkomponenten wird ein Modell benötigt, das die logistischen Vorgänge repräsentiert und dessen Umsetzung die Untersuchung und Bewertung von Lösungsansätzen ermöglicht. Ein solches Modell ist im Rahmen des SFB 637 "Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen" [1] als ereignisgesteuerte Simulationsumgebung entwickelt worden und wird hier mit exemplarischen Ergebnissen eines Steueralgorithmus vorgestellt.

Einleitung

Die stetig zunehmende Komplexität logistischer Systeme führt zu einem Bedarf an neuen Konzepten, um die Effizienz dieser Systeme auch in Zukunft gewährleisten zu können. Als viel versprechender neuer Ansatz wird gegenwärtig ein Paradigmenwechsel von der zentralisierten Steuerung nicht-intelligenter Objekte in hierarchischen Strukturen zu dezentral gesteuerten, intelligenten Objekten in heterarchischen Strukturen in logistischen Prozessen breit diskutiert. Jene mit neuen Technologien „intelligent“ gemachten Objekte können einerseits Rohmaterialien, Komponenten oder Produkte sein, andererseits auch Transportbehälter (z.B. Paletten und Pakete) oder Transportmittel (z.B. Förderanlagen, Lastkraftwagen) sein [2].

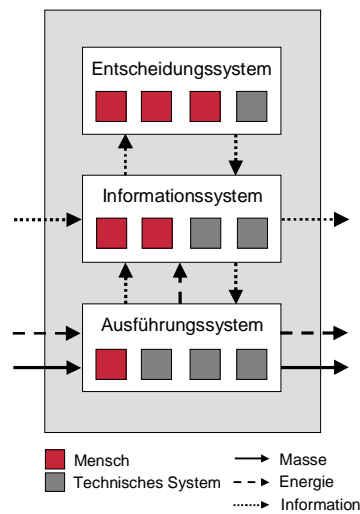


Bild 1: Schichten im logistischen System

Ein logistisches System kann in drei Schichten eingeteilt werden, siehe Bild 1:

- Ausführungsschicht
- Informationsschicht
- Entscheidungsschicht.

Die momentan in diesen Schichten anzutreffenden Anteile, die durch den Menschen und durch Technologie realisiert werden, sind in der Abbildung durch die roten und grauen Blöcke dargestellt. Es ist ersichtlich, dass insbesondere in den höheren Schichten die Möglichkeit besteht, den Technologieanteil zu erhöhen. In diesem Artikel soll als konkretes Beispiel die Übertragung von Routingverfahren aus Kommunikationsnetzen auf das Routing der physikalischen Komponenten der Logistik vorgestellt werden. Dies stellt einen Transfer von Technologie in die Entscheidungsebene dar und beeinflusst indirekt die Ausführungsebene, indem die Ausführung nicht mehr zentral, sondern dezentral bestimmt wird.

Vergleich von Kommunikation und Logistik

Zur Entwicklung eines dezentralen Ansatzes zum Routing von Paketen durch ein logistisches Netz ist es nahe liegend, nach Analogien in anderen Netzen zu suchen. Hier stellen Kommunikationsnetze mit ihren hoch entwickelten Technologien und Algorithmen ein interessantes Feld dar. Sie weisen zahlreiche Ähnlichkeiten zu logistischen Netzen auf: In beiden Netzen werden viele (mehr oder weniger) kleine Einheiten von Quellen zu Senken transportiert. Auch ist in beiden Netzen häufig eine Aufteilung einer Aufgabe in mehrere kleinere Aufgaben möglich. Bild 2 zeigt dies für die Logistik: Eine Ladung, bestehend aus den Paketen A, B, C, D, soll von der Quelle zur Senke transportiert werden. Man kann erkennen, dass jedes der Pakete eine individuelle Route durch das Netz von Straßen und Umschlagpunkten nehmen kann. In Kommunikationsnetzen kann z.B. das Laden einer WWW-Seite mit einigen Bildern damit verglichen werden.

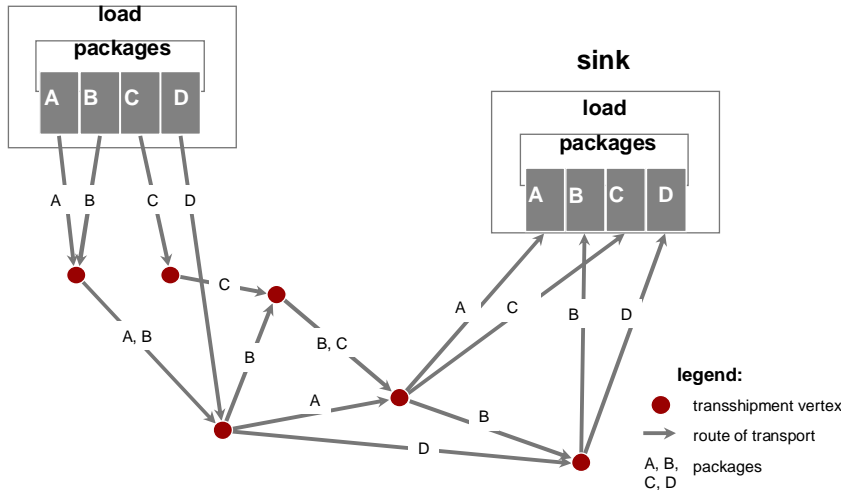


Bild 2: Transport durch ein logistisches Netz

Es gibt allerdings auch einige Punkte, die in Kommunikation und Logistik eindeutig verschieden sind: Eine wichtige Differenz besteht darin, dass Kommunikationsnetze kein echtes Äquivalent zu den in der Logistik vorhandenen Fahrzeugen aufweisen. Allgemeiner ist eine Hierarchie von Ladungsträgern, die nicht entstehen oder verschwinden (z.B. Palette, Container, Fahrzeug) in Kommunikationsnetzen nicht vorhanden. Ein weiterer Unterschied ist der Umgang mit Paketverlusten. In Kommunikationsnetzen kann ein verlorenes Paket in den meisten Fällen erneut übertragen werden, während ein Paketverlust in der Logistik ein schwerwiegendes Problem darstellt, das auf jeden Fall zu vermeiden ist, da eine erneute Versendung sehr kostspielig, wenn nicht sogar unmöglich ist. Ebenfalls deutlich unterscheiden sich die Zeitskalen. Während es in Kommunikationsnetzen um die Größenordnung von Sekunden oder Millisekunden geht, sind bei logistischen Transporten Stunden oder gar Tage eine übliche Größenordnung.

Routing in logistischen Netzen

Das Teilprojekt „B1: Reaktive Planung und Steuerung“ des Sonderforschungsbereichs hat zum Ziel, Algorithmen auf Anwendbarkeit für reaktive Steuerung von Transporten in logistischen Netzen zu untersuchen. Reaktive Steuerung bedeutet dabei, dass die Routenwahl und die Beladung nicht auf eine initiale Planung vor der Abfahrt des Fahrzeugs beschränkt ist, sondern dass sie auch beinhaltet, auf Veränderungen

Veröffentlicht in: Industrie Management, 21(2005)5, GITO, Berlin, 2005, S. 53-56.

während des Transports reagieren zu können, z.B. bei gesperrten Straßen, Staus, Fahrzeugausfall usw. Die untersuchten Ansätze gehen davon aus, dass die Reaktionen auf diese Vorfälle nicht allein in einer zentralen Einheit, sondern dezentral in den betroffenen Einheiten (Knoten, Transportmittel oder gar Transportgüter) bestimmt werden. Ein solcher dezentraler Ansatz impliziert, dass die Einheit, die über ihr weiteres Vorgehen entscheidet, möglicherweise nur begrenztes Wissen über ihre Umgebung hat. Die Menge dieses Wissens kann auch davon abhängen, welche Kommunikationsmöglichkeiten während der Entscheidungsfindung bereit stehen.

Die Untersuchung von Algorithmen für die reaktive Steuerung greift auf Ansätze aus verschiedenen Bereichen, wie der Künstlichen Intelligenz, des Operations Research und den Methoden für Kommunikationsnetze zurück. In diesem Artikel soll der Fokus auf der Übertragung von Routingverfahren aus Kommunikationsnetzen liegen, daher wird hier auf die anderen Ansätze nicht näher eingegangen.

Methodik

Um die Verwendung verschiedener Algorithmen in logistischen Netzen zu untersuchen und zu bewerten, wurde eine Simulationsumgebung erstellt, die ein physikalisches logistisches Netz modelliert. Dieses Modell beinhaltet:

- Knoten: Orte im Netz, an denen entweder eine Möglichkeit zum Richtungswechsel oder eine Umlademöglichkeit oder beides vorhanden ist.
- Quellen: Erweiterung von Knoten zur „Generierung“ von Paketen und zugehörigen Aufträgen.
- Senken: Knoten, an die Pakete ausgeliefert werden.
- Kanten: Verbindungen zwischen Knoten. Kanten werden als gerichtet betrachtet.
- Transportmittel: Einheiten, die sich auf Kanten bewegen und Pakete transportieren.
- Pakete: Die zu transportierenden Güter. Ein Paket wird als unteilbar betrachtet.

Die Simulationsumgebung wurde unter Verwendung der CNCL (Communication Networks Class Library) erstellt, einer Klassenbibliothek, die an der RWTH Aachen und der Universität Bremen zur ereignisgesteuerten Simulation von Kommunikationsnetzen entwickelt wurde. Diese wurde um einige Komponenten erweitert, um auch logistische Netze simulieren zu können. Das zu untersuchende Szenario wird dabei über eine Konfigurationsdatei in XML-Format eingelesen, so dass verschiedene Szenarien ohne große Änderungen simuliert werden können.

Zur Bewertung von Selbststeuerungsansätzen für die Transportlogistik ist im SFB 637 ein Katalog an Leistungsmaßen definiert worden, der die folgenden Maße beinhaltet:

- Durchlaufzeit: Zeit, die eine Transportgut von der Quelle bis zur Senke benötigt
- Wartende Güter: Die Menge der wartenden Güter an einem Knoten, die noch befördert werden müssen
- Wartende Fahrzeuge: die Menge der Fahrzeuge, die an einem Knoten auf Aufträge warten
- Fahrzeugauslastung: Verhältnis der vorhandenen Transportkapazität zur tatsächlich genutzten
- Anteil verwendeter Fahrzeuge: Anteil der vorhandenen Fahrzeuge, die am Transportgeschehen beteiligt sind
- Anteil im Transport befindlicher Güter: Verhältnis der aktuell bewegten Güter zu den aktuell vorhandenen
- Distanz pro Transportgut: Die pro Transportgut zurückgelegte Distanz
- Terminabweichung: Falls ein Liefertermin gesetzt ist, die Abweichung des tatsächlich erreichten Termins zum vorgegebenen.

Dieser Katalog von Kriterien bildet einen Rahmen, der mit Hilfe einer entsprechenden Kostenfunktion eine Bewertung und Optimierung des untersuchten Ansatzes zulässt.

Diese Kostenfunktion wiederum ist abhängig von den Zielvorgaben, auf die hin optimiert werden soll.

Exemplarische Betrachtung eines Routingverfahrens

Hier soll exemplarisch gezeigt werden, dass es möglich ist, Routingansätze aus Kommunikationsnetzen auf logistische Netze anzuwenden. Betrachtet wird ein Szenario, das 18 der größten Städte Deutschlands mitsamt Autobahnverbindungen zwischen diesen Städten beinhaltet (Bild 3). In diesem Szenario sind 71 LKW mit einer Kapazität von jeweils 60 Gütern verteilt, und an jedem Knoten werden (in unterschiedlichen Mengen) Transportgüter mit verschiedenen Zielen erzeugt. Insgesamt wurde der Transport von rund 5 Millionen Paketen simuliert.

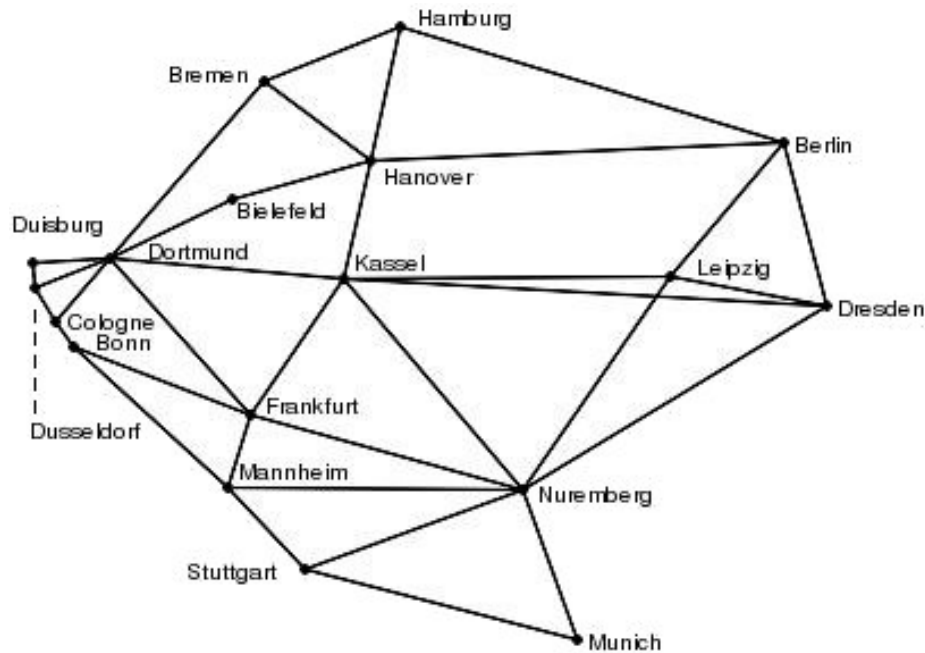


Bild 3: Das Netz des simulierten Szenarios

Der eingesetzte Routingalgorithmus ist angelehnt an On-Demand-Verfahren aus Ad-Hoc-Funknetzen, wie sie in der Literatur beschrieben sind [3], insbesondere an das Protokoll AODV (Ad-Hoc On-Demand Distance Vector). Es wird hier davon ausgegangen, dass an jedem Knoten nur Informationen bezüglich der Routen zu Nachbarknoten vorliegen. Insbesondere bezieht sich das hier auf dynamische Informationen, beispielsweise die prognostizierte Reisezeit auf der Route. Hier liegt die Stärke des On-Demand-Verfahrens: Dadurch, dass Routen bei Bedarf erstellt werden, ist es nicht notwendig, überall ständig vollständige Informationen vorzuhalten. Trotzdem kann eine lokal auftretende plötzliche Änderung (z.B. Vollsperrung nach einem Unfall) sofort bei der Routenfindung berücksichtigt werden. Gegebenenfalls kann auch bei Fahrzeugen, die bereits unterwegs sind, eine neue Routenfindung initiiert werden. Die Routenfindung geschieht folgendermaßen: Ein Fahrzeug fragt bei dem Knoten, an dem es sich gerade befindet oder auf den es sich zu bewegt, eine Route zu seinem Ziel an. Ist das Ziel ein Nachbarknoten, so kann der Knoten direkt auf die Anfrage antworten. Falls nicht, sendet er die Anfrage an seine Nachbarknoten weiter, die dann wiederum die gleiche Prozedur durchführen. Auf diese Weise bewegt sich die Anfrage von Knoten zu Knoten, bis eine Route gefunden wird. Diese wird dann auf demselben Weg zurück kommuniziert, bis sie am Fahrzeug angekommen ist. Die so gefundene Route verwendet das Fahrzeug nun zum Transport der Güter. Gibt es mehrere mögliche Routen zu einem Ziel, so kann auch berücksichtigt werden, ob das Fahrzeug unterwegs weitere Aufträge bedienen kann. Dabei werden an den jeweiligen Bestimmungsorten Güter entladen und nach Möglichkeit neue Güter mit

geeigneten Zielorten aufgenommen. Damit wird eine dynamische Be- und Entladung mit einer dezentralen und adaptiven dynamischen Routenfindung gekoppelt.

Bei der im Szenario vorgegebenen inhomogenen Lastverteilung (die größten Städte generieren die meiste Last, Maximum: Berlin mit 34 Paketen pro Zeiteinheit) sind folgende Ergebnisse erzielt worden:

- Knoten mit der größten Menge an wartenden Paketen: München (im Mittel 44,1 Pakete), Dies ist durch die vergleichsweise schlechte Vernetzung des Knotens München bei gleichzeitig relativ hoher dort entstehender Last zu erklären.
- Mittlere Auslastung der Fahrzeuge: 76,9%
- Am stärksten frequentierte Verbindungen (in dieser Reihenfolge):
 - Berlin – Hamburg
 - Frankfurt – Bonn
 - Hamburg – Berlin
 - Köln – Düsseldorf
 - Bremen – Hamburg
 - Dortmund – Bremen

Diese Ergebnisse zeigen, dass ein dezentrales, dynamisches Selbststeuerungsverfahren erfolgreich in einem logistischen Netz implementiert werden kann. Sie sind auch insofern viel versprechend als das hier mit einem verteilten Verfahren eine Auslastung der Transportkapazität (76,9%) erreicht werden konnte, die über dem heute in der Transportlogistik erreichten Wert von unter 70% [4] liegt.

Zusammenfassung und Ausblick

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen die prinzipielle Anwendbarkeit von Routingverfahren aus Kommunikationsnetzen auf die Logistik. Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, einen Routingansatz so zu übertragen, dass der prinzipiell vorhandene Unterschied der Existenz von Transportmitteln in dem Ansatz berücksichtigt werden kann. Damit ist ein viel versprechender Weg zur Umsetzung der Selbststeuerung in der Logistik eröffnet. Die Autoren erwarten, dass die weitere Forschung in diesem Bereich leistungsfähige Verfahren zur Selbststeuerung in Transportlogistik hervorbringen wird.

Literatur

[1] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: Industrie Management 20(2004)1, S. 23-27.

[2] Scholz-Reiter, B.; Windt, K.; Freitag, M.: Autonomous logistic processes: New demands and first approaches. In: Monostori, L. (ed.): Proceedings of the 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Budapest, Hungary, 2004, pp. 357-362.

[3] Perkins, C. E.: Ad Hoc Networking. Addison-Wesley, Boston, 2001. ISBN 0-201-30976-9.

[4] Bundesamt für Güterverkehr, 2002.

Schlüsselwörter

Logistische Netze, Kommunikationsnetze, Routenfindung, Selbststeuerung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 637.

English Abstract

In current logistics systems, there is a trend towards more and more smaller and smaller transport positions (atomisation of load). This increases the complexity of planning and control. Therefore, there is a need for new concepts to be able to still have efficient logistics in the future. Such a new concept is the autonomous control where intelligence and decision autonomy are moved as far as possible from a central control instance towards the individual vehicles and goods.

For this concept of autonomously controlled logistics components, a model is needed to represent the logistics processes and to enable the investigation and evaluation of solution approaches. Such a model has been developed in the CRC 637 "Autonomous Controlled Logistics Processes – A Paradigm Shift and its Limitations" [1] as a discrete-event simulation platform and is presented here with exemplary results of a control algorithm.

English keywords

Logistics networks, communication networks, routing, autonomous control